

# HANDBUCH DER WISSENSCHAFTLICHEN UND ANGEWANDTEN PHOTOGRAPHIE

HERAUSGEGEBEN VON  
ALFRED HAY †

WEITERGEFUHRT VON  
M. v. ROHR

BAND VI

## WISSENSCHAFTLICHE ANWENDUNGEN DER PHOTOGRAPHIE

ZWEITER TEIL  
MIKROPHOTOGRAPHIE



WIEN  
VERLAG VON JULIUS SPRINGER  
1933

# WISSENSCHAFTLICHE ANWENDUNGEN DER PHOTOGRAPHIE

ZWEITER TEIL  
MIKROPHOTOGRAPHIE

BEARBEITET VON

T. PÉTERFI  
BERLIN

MIT 242 ABBILDUNGEN



WIEN  
VERLAG VON JULIUS SPRINGER  
1933



9

5018

ALLE RECHTE, INSBESONDERE DAS DER UEBERSETZUNG  
IN FREMDE SPRACHEN, VORBEHALTEN

COPYRIGHT 1943 BY JULIUS SPRINGER IN VIENNA

PRINTED IN AUSTRIA

270 000 -

296

# Inhaltsverzeichnis.

## Allgemeiner Teil

	Seite
I Die geschichtliche Entwicklung der Mikrophotographie	1
II Das mikroskopische Bild	9
1 Einleitung	9
2 Der Abbildungsmaßstab	14
3 Die Abbildungsscharfe	14
4 Die Tiefenschärfe	16
5 Die Helligkeit oder die Lichtstärke	17
6 Die optische Auflösung	19
7 Die Kontrastwirkung	20
III Die allgemeinen Bedingungen der mikrophotographischen Aufnahme	26
IV Die Objektiven	28
8 Einteilung	28
9 Die Art der Zusammenstellung	29
10 Die Objektivaussung	30
11 Die Kennzeichen	30
12 Die Trockensysteme	31
13 Objektive mit Korrektaonsfassung	33
14 Die Immersionssysteme	34
15 Das optische Zedernol	39
16 Der Aufbau der Objektive für homogene Immersion	41
V Die Okularlinsen	42
17 Einteilung und Aufbau	42
18 Die Kompensationsokulare	44
19 Die Homale	44
20 Die Projektionsokulare	45
21 Die Bezeichnung	46
VI Der Beleuchtungsapparat des Mikroskops	46
22 Einteilung und Aufbau	46
23 Der Planspiegel	48
24 Der Hohlspiegel	49
25 Der Kondensor	49
26 Die Kondensoren mit Korrektion	51
27 Die Irisblende	53
<b>Die mikrophotographischen Apparate</b>	<b>56</b>
VII Die kleinen Vertikalkammern	56
28 Die Grundplatte	58
29 Die Kamera	59
30 Die Kassette	59
31 Der Verschuß	60
32 Lichtschutzmanschette	60

	Seite
VIII Die kunstlichen Lichtquellen	60
33 Die Punktlichtlampen	60
34 Die Kohlenbogenlampen	65
35 Die Projektionsöhrenlampen	72
36 Die Niedervoltlampen	73
37 Die Bandlampen	74
38 Seltener vorkommende Lichtquellen	74
IX Die Austuhtung der Aufnahme mit einer kleinen Vertikal- kamera	74
39 Das Ausrichten des Mikroskops	74
40 Das Leuchtteldverfahren nach A KOHLER	75
41 Die Einstellung des Mattscheibenbildes	80
42 Die erforderliche Vergrößerung	80
43 Die scharfe Einstellung	88
44 Die Plattengröße	93
X Die Belichtung und die Bestimmung der Belichtungszeit	95
45 Die Belichtungsreihen	95
46 Berechnung der Belichtungszeit	99
XI Allgemeines über das Negativverfahren in der Mikrophoto- graphie	104
47 Das BUNSEN-ROSCOE'sche Gesetz und der SCHWARZSCHILD'sche Exponent	105
48 Der Belichtungsstab	107
49 Die Bedeutung der härteren oder weichen Bilder in der Mikro- photographie	109
50 Die Entwicklungsproben	114
51 Die Wahl der Entwickler und der Plattensorten	116
52 Die Stand- und die Schalenentwicklung	119
53 Die Nummerierung der Platten	120
XII Die Herstellung der positiven Bilder	120
54 Das Auskopierverfahren und die Entwicklungspapiere	120
55 Die Vergrößerung der Abzüge	123
56 Die Glasbilder	125
XIII Der Einfluß der Wellenlänge des Lichts auf das mikrophoto- graphische Bild Die Lichtfilter	127
57 Die Empfindlichkeit der Platten für verschiedene Wellenbereiche	127
58 Die tonrichtige Wiedergabe gefärbter Objekte mit sensibilisierten orthochromatischen Platten	130
59 Die Lichtfilter	133
60 Die Verwendung des rein monochromatischen Lichtes	141
61 Die photographische Wiedergabe des mikroskopischen Bildes in natürlichen Farben	143
62 Das Aufnahmebuch Zusammenfassung	147
XIV Die großen mikrophotographischen Apparate	149
63 Allgemeines	149
64 Die große Horizontalkamera der Firma ZEISS	151
65 Die Horizontal-Vertikal Apparate	161
XV Die Aufsatzkamern	166
66 Allgemeines	166
67 Das „Phoku“	167
68 Die Aufsatzkamern der Firma LEITZ „Macca“ und „Makam“	173
69 Die Mikrokamern nach CERNY	175
70 Die Mikrokamera der Firma E. BUSCH	176
71 Die Mikrokamera mit dem „Mikrophot“	177
XVI Besondere Formen mikrophotographischer Apparate	179
72 Der SKELL'sche Apparat	179
73 Die mikrophotographischen Kasten der Firma W. WATSON & SONS, Ltd., London	180
74 Das „Metaphot“-Modell 400 der E. BUSCH A.-G., Rathenow	181

## Spezieller Teil

	Seite
<b>A. Aufnahmen mit besonderer optischer Einrichtung</b>	184
I Die Mikrophotographie mit dem einfachen Mikroskop (Aufnahmen bei schwachsten Vergrößerungen)	184
75 Die Wahl der Objektive	184
76 Die Stützen	188
77 Die Beleuchtung	194
78 Die Objekthalter	197
II Die Mikrophotographie bei Dunkelfeldbeleuchtung	199
79 Die verschiedenen Arbeiten der Dunkelfeldmikroskopie	200
80 Das Spalt-Ultramikroskop	201
81 Die Dunkelfeldkondensoren	202
82 Die Dunkelfeldbeleuchtung durch Ablendung der Sehtfeld- strahlen im Objektiv	211
83 Die Wahl zwischen Hellfeld und Dunkelfeld	212
84 Der Einfluß des Objektes	213
85 Einstellung und Belichtung	214
86 Aufnahmen von ultramikroskopischen Strukturen	215
87 Die Wahl der Platten	215
88 Die Abzüge	216
89 Die Molekularbewegung	217
III Die Mikrophotographie in auffallendem Licht	218
a) Aufnahmen mit einseitig auffallendem Licht	218
90 Allgemeines	218
91 Die geeigneten Objekte	219
92 Die Beleuchtung	220
93 Die Objekthalter	223
94 Die Objektive	226
95 Die Kapillarmikroskopie	227
b) Aufnahmen mit allseitig auffallendem Licht	228
96 Der LIEBERKUHNSCHE Spiegel	228
97 Der Vertikalilluminator	229
98 Die Regelung der Blenden des Vertikalilluminators	232
99 Beleuchtung und Einstellung	233
100 Die graphische Wirkung des Auflichtbildes	235
101 Der Schräglichtilluminator	236
102 Der Auflicht-Dunkelfeldkondensor	238
103 Das Ultropak	239
104 Die Auflichtgeräte für Dunkelfeldbeleuchtung der Firma C. ZEISS (die Epi-Lampen, Epi-Spiegel und Epi-Kondensoren)	242
105 Kammergerüst und Plattenmaterial	248
IV Die Mikrophotographie in der Metallographie und Faser- stoffforschung	249
106 Die kleinen metallographischen Einrichtungen	251
107 Die großen metallographischen Einrichtungen	254
V Die Stereo-Mikrophotographie	255
108 Das stereoskopische Bild	255
109 Die binokularen Präpariermikroskope nach GREENOUGH	257
110 Die DRUNLSCHES Kamera	258
111 Die Mikrosterokamera (LITIZ)	260
112 Die Aufsatzkammer-Lukam (LITIZ)	260
113 Der Schaulerraum bei Apparaten mit gekreuzten Einstellachsen	261
114 Die Methoden mit gekreuzten Objektiven	262
115 Die Methoden mit un gekreuzten Einstellachsen	264
116 Die stereo-mikrophotographischen Einlegeblenden	264
117 Die Belichtung und die weitere Behandlung der Aufnahme	268
VI Die Aufnahmen im polarisierten Licht	274
118 Allgemeines über das polarisierte Licht	274
119 Die Nikols	275

	Seite
120 Der Polarisator und der Analysator	276
121 Das Polarisationsmikroskop	277
122 Verschiedene Formen des Polarisators und des Analysators	280
123 Die Einstellung des polarisierenden Bildes	282
124 Der Strahlengang	283
125 Besondere Forderungen an das Abbildungssystem, den Spiegel und den Linsenwechsel	285
126 Die kanoskopische Methode	286
127 Die mikrophotographische Einrichtung	287
128 Die graphische Wirkung	290
129 Die Aufnahmen von Objekten mit Polarisationsstäben	291
130 Belichtungszeit und Entwicklung	292
VII Die Aufnahmen in ultravioletttem Licht	293
131 Der Beleuchtungsapparat	294
132 Die Quarzlinsen	298
133 Zentrierung und Einstellung	300
134 Der Sucher	302
135 Die Reihenaufnahmen in UV-Licht nach FR. F. LUCAS	303
136 Die Belichtungszeit	305
137 Die Vorteile der UV-Mikrophotographie	306
VIII Die Lumineszenzmikroskopie	308
138 Das Lumineszenzlicht	308
139 Die Ausschaltung der UV-Strahlen	309
140 Das abbildende System und die Objekte	309
141 Die Fluoreszenzmikroskope	311
IX Die Mikrophotographie in infrarotem Licht	312
X Die Mikroradiographie	315
<b>B. Die Objekte der biologischen Forschung und ihre mikrophotographische Darstellung</b>	317
XI Die Mikrophotographie im Dienst der mikroskopischen Lebendbeobachtung	317
142 Die Frage der optischen Auflösung	317
143 Das Vergrößerungsvermögen	319
144 Die Form und Art der Präparate	320
145 Die Steigerung der Kontraste innerhalb der lebenden Zellen	323
146 Einstellungsregeln	325
147 Die Verwendung von polarisiertem Licht	328
XII Die Kulturpräparate	328
148 Die Deckglaskulturen	329
149 Die Dunkelfeldbeleuchtung	330
150 Die Schalenkulturen	331
XIII Die Gewebekulturen	333
151 Die Anlegung von Gewebekulturen und ihre verschiedenen Arten	334
152 Die heizbaren Kasten, Tische und Kammern	336
153 Die optischen Eigenschaften der Deckglaskulturen	337
154 Die Wahl der Objektive	339
155 Die Kontraste zwischen Objekt und Hintergrund	341
156 Die Flaschenkulturen	342
157 Besondere Beleuchtungsarten	342
<b>C. Die Mikrophotographie beweglicher Objekte</b>	344
XIV Die Momentaufnahmen	344
158 Einteilung der Objekte nach der Geschwindigkeit des Form- und Ortswechsels	345
159 Die Einrichtungen zu Momentaufnahmen	346
160 Die Objekte mit raschem Ortswechsel	347
161 Das Festhalten der Objekte	348
162 Die Wahl der Linsen und die Beleuchtungsfrage	349
163 Reihenphotographie	350

## Inhaltsverzeichnis

	IX
	Seite
<b>XV Die Mikrokineematographie</b>	<b>352</b>
164 Grundbegriffe	352
165 Der Aufnahmeapparat	354
166 Die Aufnahmekamera	360
167 Das Filmmaterial	362
168 Die Schmalfilmtechnik	364
169 Die Korngröße und die Empfindlichkeit der Filme	366
170 Die mikroskopisch-optische Einrichtung	367
171 Der Einfluß der Projektion auf die erforderliche Vergrößerung	368
172 Die Größe des Gesichtsfeldes	369
173 Die Okularvergrößerung	370
174 Die lichtdichte Verbindung	371
175 Die Beleuchtungseinrichtung	371
176 Die scharfe Einstellung und die Kontrolle	374
177 Die Probeaufnahmen	378
178 Die Zeitrafteraufnahmen	378
179 Die Zeitlupe	381
180 Die filmtechnische Behandlung der belichteten Filmrollen	383
181 Die Umräumung der Aufnahmen	386
182 Der Plan der Aufnahmen	387
 <b>D Die Mikrophotographie der gefärbten Dauerpräparate</b>	 <b>388</b>
183 Die optischen und graphischen Eigenschaften der Objekte	388
184 Die Wahl der Färbung	390
185 Schnittdicke und Einschlufmittel	394
186 Die Behandlung des Negativs und des Abzuges	395
187 Die farbigen Abbildungen	396
188 Die Wahl zwischen zeichnerischer und mikrophotographischer Abbildung	397
 Namen- und Quellenverzeichnis	 401
Sachverzeichnis	418



# Allgemeiner Teil.

(Zusammenfassende Darstellungen bei J. E. BARNARD u. F. V. WELCH [1], C. KAISERLING [1, 2], A. KOHLER [6, 8, 9], K. LAUBLNITZER [1], P. MEYNER [1], R. NEUMAUSS [1], G. H. RODMANN [1], B. ROMFS [1] und W. SCHLEIER [3])

## I. Die geschichtliche Entwicklung der Mikrophotographie<sup>1</sup>.

Der erste, welcher mikroskopische Bilder auf eine lichtempfindliche Schicht projiziert hat, war HUMPHREY DAVY (1802). Er hat nach dem Verfahren von A. H. SCHULTZE (1727 in Halle a. d. S.) und J. WEDGWOOD (gestorben 1795) ein mit salpetersaurem Silber durchtranktes Papier benutzt, worauf das Objekt mittels eines Sonnenmikroskops abgebildet wurde. Es gelang jedoch nicht, das so erhaltene Bild zu fixieren, und erst 1840, nachdem das Verfahren von DÄNIERRE bekannt wurde (ARAGO 1839), konnte A. DONNÉ die ersten von seinem Laboranten FOUCAULD angefertigten Daguerreotypen mikroskopischer Objekte der Akademie der Wissenschaften in Paris vorlegen. Fast gleichzeitig mit DONNÉ haben DANCER, J. B. READE (1837) und FOX TALBOT über Versuche berichtet, in denen es gelungen war, Mikrophotographien auf Papier zu erzeugen. Während bei allen diesen Versuchen das mikroskopische Bild in einem verdunkelten Raum auf die (weiße) Wand projiziert und von da abphotographiert wurde, hat 1844 der Apotheker MAYER in Frankfurt a. M. den ersten mikrophotographischen Apparat gebaut, wo eine Kamera mit einer lichtempfindlichen Schicht unmittelbar dem Mikroskop aufgesetzt wurde (Abb. 1). Mit diesem mikrophotographischen Apparat von MAYER beginnt eigentlich die Geschichte der Mikrophotographie.

In der weiteren Entwicklung bis auf unsere Tage lassen sich drei größere Abschnitte unterscheiden. Im ersten Abschnitt, welcher von den vierziger bis Ende der sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts dauerte, werden die verschiedenen Versuche durchgeführt, die eine handlichere und den mikrosko-

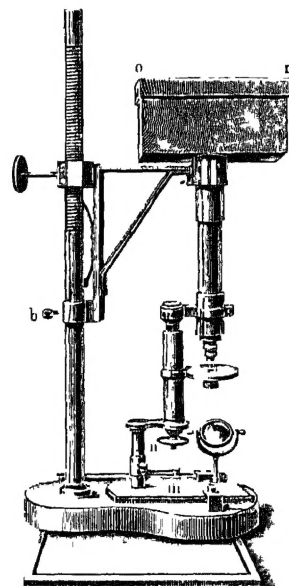


Abb. 1. Das Helmholtz-Kap von MAYER.

*a, a'* Einstellringe zur Mattscheide und Halte- *b* Einstellring mit kleiner Schraube *p* Einstellschraube des Mikroskops *m* Filzplatt (AUS R. NEUMAUSS [1]).

<sup>1</sup> Nach Angaben aus ST. A. APATHY (1), J. M. EDER (1), L. DIEHL (1), P. HAKLING (1), C. NAGEL u. S. SCHWINDNER (1) und R. NEUMAUSS (1) zusammengestellt. Bei APATHY (1) fehlen leider die Literaturangaben.



pischen Forderungen angepaßtere Form der Vorrichtung anstrebten. In dieser Zeit erfolgte auch die Einföhrung von lichtempfindlichen photographischen Glasplatten an Stelle der Daguerreotypen oder der präparierten Papiere von TALBOT. Was die Konstruktion der mikrophotographischen Einrichtung anbelangt, so hat die von MAYER getroffene ursprüngliche Konstruktion sich auch später als die beste erwiesen. Die bis zu den sechziger Jahren eingeföhrten neueren Apparate (POHL und WESSELSKY [1], ROOD [1], MADDOX, GERLACH [1]) zeigen keine wesentlichen Vorteile dem MAYERSchen Apparat gegenüber, in mancher Hinsicht sind sie sogar ungeeigneter als dieser. Immerhin stammen auch aus dieser Zeit Neuerungen, die bei der Konstruktion der späteren Apparate Verwendung gefunden haben. So haben POHL und WESSELSKY als erste den Lichtschutz zwischen Mikroskop und Kamera durch einen schwarzen Tucharmel hergestellt (1852). Ihre Einrichtung bestand aus einem senkrecht stehenden Mikroskop und einer waagerecht gestellten Kamera. Das mikroskopische Bild wurde durch ein rechtwinkliges Prisma (geknicktes Okular) auf die Mattscheibe oder auf die lichtempfindliche Schicht geworfen. Dieses Prinzip wurde später bei vielen Apparaten für senkrecht stehende Mikroskope verweitet. Die erste Einrichtung für die Mikrophotographie bei waagerecht gestelltem Mikroskop stammt von ROOD (1862). Allerdings hat schon WENHAM (1) das Prinzip der Bildprojektion durch ein waagerecht gestelltes Mikroskop für die Mikrophotographie nutzbar gemacht, und hauptsächlich WOODWARD war es, der seine zu ihrer Zeit berühmten Mikrophotographien nach dieser Methode aufgenommen hatte. WOODWARD hat jedoch bei seinen Aufnahmen keine Kamera benutzt, sondern nach dem Beispiel von WENHAM das mikroskopische Bild in einem verdunkelten Raum direkt auf eine Projektionsfläche oder auf die lichtempfindliche Schicht geworfen. So wertvoll auch seine Erfahrungen für die weitere Entwicklung der theoretischen Mikrophotographie waren (s. weiter unten), so wenig hat seine Einrichtung die späteren Konstruktionen beeinflußt<sup>1</sup>. Diese haben sich auf den Grundlagen weiterentwickelt, die in den Apparaten von ROOD oder MADDOX gegeben waren. Der Typus des aufrecht<sup>\*</sup> stehenden Apparats wurde 1865 von H. VAN HEURCK (2) weiterentwickelt, indem VAN HEURCK eine recht handliche und mechanisch besser durchgearbeitete Einrichtung getroffen hat. Er war auch der erste, welcher versucht hatte, ohne Okular Aufnahmen zu machen (vgl. aus jüngster Zeit die ähnlichen Versuche von K. SCHAUM [1], S. 46). Die Hauptschwierigkeit, mit der die Bahnbrecher der Mikrophotographie Mitte des vorigen Jahrhunderts zu kämpfen hatten, war nicht so sehr optischer als vielmehr photochemischer Natur. Es war noch kein photographisches Plattenmaterial bekannt, das eine rasche und sichere Arbeit gestattet hatte<sup>2</sup>. Weder die im Jahre 1847 von NIEPCE DE ST VICTOR eingeföhrten Glasplatten mit einer lichtempfindlichen Eiweißschicht noch das nasse Kollodiumverfahren von F. SCOTT ARCHER (1851) waren geeignet, dem mikrophotographischen Verfahren in der Biologie eine allgemeine Verbreitung zu sichern. Nicht nur, daß die rein photographisch-technische Herstellung und Behandlung solcher Platten unverhältnismäßig mehr Zeit, Arbeit und Geduld erfordert hat als eine gute zeichnerische Wiedergabe des Präparats, auch mit den damals bekannten besten Platten war das Ergebnis nicht sicher. Fast 30 Jahre lang war das nasse Kollodiumverfahren, welches die mit Eiweiß bestrichenen Glasplatten in kurzer Zeit verdrängt hat, in der Photographie allgemein verbreitet. Die Herstellung, Aufbewahrung und Weiterbehandlung solcher Platten war jedoch begrifflicherweise

<sup>1</sup> Erst in neuester Zeit haben KATZNELSON (1) und MEISSNER (1) das WENHAMsche Prinzip wieder nutzbar zu machen versucht.

<sup>2</sup> Vgl. dieses Handbuch Bd. V, I.

eine schwere Belastung für die Biologen, denen die Mikrophotographie nur ein technisches Hilfsmittel bedeutet hat. Es wurden zwar schon 1854/55 auch trockene Kollodiumplatten eingeführt (TAUPENOT, ROBIQUET und DUBOSQ), diese waren jedoch noch weniger lichtempfindlich als die nassen Kollodiumplatten, woran weder die Vorschläge von GAUDIN (Herstellung von Trockenplatten mit einer Jodsilberkollodiumschicht, 1861) noch die von C. RUSSELL (Sensibilisierung mit 4proz. Tanninlösung, 1862) Wesentliches geändert haben. Die geringe Lichtempfindlichkeit der Platten hat einen entscheidenden Einfluß auf die Art der Beleuchtung und der Aufstellung der Apparate ausgeübt. Die Forderung war, ein möglichst intensives Licht durch das Mikroskop so zu werfen, daß von diesem Licht so wenig als möglich unterwegs verloren gehe. Bei dem Stand der Beleuchtungstechnik in den fünfziger und sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts war die einzige einwandfrei brauchbare Lichtquelle das Sonnenlicht. So wurde die Beleuchtung der mikrophotographischen Apparate hauptsächlich durch Heliostaten besorgt, was sowohl die Konstruktion komplizierter gestaltete als auch die Arbeit auf die Zeit eingeschränkt hat, wo Sonnenlicht vorhanden war. Trockene Kollodiumplatten konnten bei ihrer geringen Lichtempfindlichkeit nur mit direktem Sonnenlicht beleuchtet werden, mit künstlichem Licht, d. h. bei Petroleumlampe oder Kalklicht, konnten Aufnahmen nur mit nassen Kollodiumplatten vorgenommen werden, und auch so nur bei mittelstarken Vergrößerungen.

Aus all diesen Schwierigkeiten technischer Natur erklärt es sich, daß bis zum Ende der sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts die Mikrophotographie nur von einigen Spezialisten ausgeübt wurde, deren Leistungen auch heute noch unsere Bewunderung verdienen. Gute Mikrophotographien haben jedoch in jener Epoche zu den Seltenheiten gehört, die in besonderen Atlanten herausgegeben wurden und, obwohl sie großes Aufsehen erregten, auf die mikrobiologische Forschung ohne besonderen Einfluß blieben.

Der zweite Abschnitt umfaßt etwa 25 Jahre, welche zwischen dem Erscheinen des Lehrbuchs von A. MORTESSIER (1, 1866) und dem Bau des großen mikrophotographischen Apparats von ZEISS (1888) verstrichen sind. Während im vorangegangenen Vierteljahrhundert die Methode in ihren Grundzügen entdeckt und begründet wurde, hat man in dem darauffolgenden Zeitabschnitt die allgemeine Einführung der Mikrophotographie in die biologische Forschung vorbereitet. Schon 1863 ist das Lehrbuch von J. GERLACH (1) über die Mikrophotographie erschienen und hat zur Bekanntmachung des Verfahrens wesentlich beigetragen. Der darin beschriebene und abgebildete Apparat von GERLACH<sup>1</sup> ist zwar bedeutend schwerfälliger und umständlicher als die älteren von MEYER oder POHL und WESSERSKY. Die Zusammenfassung der bisherigen Erfahrungen war jedoch für die weitere Entwicklung der Mikrophotographie recht willkommen. Den entscheidenden Einfluß auf die allgemeinere Einführung der Methode hat immerhin nicht das Buch von GERLACH sondern das drei Jahre später erschienene von MORTESSIER ausgeübt. MORTESSIER war einer der erfahrensten Mikrophotographen seiner Zeit, der sowohl eine senkrecht stehende wie auch eine horizontale Einrichtung gebaut und verschiedene Verfahren zu Aufnahmen bei schwachen und stärkeren Vergrößerungen ausgearbeitet hat. Die Abbildungen, welche er als Belege seiner Methodik beigegeben hat, waren überzeugend für deren Brauchbarkeit. So ist auch seine Methode von VAN HEURCK und BENECKE übernommen worden. BENECKE (1) hat 1868 eine deutsche Übersetzung des Buchs von MORTESSIER herausgegeben, das zu seiner Zeit zu den verbreitetsten

<sup>1</sup> Abgebildet und genau beschrieben auch bei DITTEL (1).

Lehrbüchern der Mikrophotographie gehört hat. Er hat auch selbst eingehende Studien angestellt, um die Methodik weiter zu vervollständigen, seine Konstruktionen haben sich jedoch nicht bewahrt. Die Namen, an welche die wichtigsten Fortschritte in dieser Entwicklungsperiode geknüpft sind, sind die von **WOODWARD**, **MADDOX**, **HARTING** (I) in Amerika, **England** und **Holland**, **NACHEL** in Frankreich und **G. FRITSCH**, **R. KOCH** und **R. ZEISS** in Deutschland. **WOODWARD**, **MADDOX** und **HARTING** haben weniger den Apparatebau als eher die Bedingungen verbessert, unter denen die Aufnahmen bei recht einfacher Vorrichtung (verdunkeltem Raum nach **WENHAM**) erfolgen konnten. So stammt die Methode der Scharfstellung der Bilder mittels der Spiegelglasscheibe und Lupe von **WOODWARD** und ebenso die Einführung des sog. Amplifiers, einer achromatischen Konkavlinse, welche bessere Aufnahmen ermöglicht hat als die bis dahin benutzten Okullalinsen. Der Amplifier von **WOODWARD** wurde später zu den sog. Homalen der Firma **ZEISS** weiterentwickelt. Bedeutungsvoll waren auch die Versuche, in denen **WOODWARD**, **MADDOX**, **READE**, **CASTRACANE** u. a. die Verwendung von künstlichem Licht für mikrophotographische Zwecke gepuift haben. Es wurde festgestellt, daß diese künstlichen Lichtquellen das Sonnenlicht auch bei Aufnahmen mit starken Vergrößerungen zu ersetzen imstande sind. Immerhin blieb bei der Beschaffenheit des Plattenmaterials auch weiterhin noch lange Zeit die Belichtung mit Helostaten für Aufnahmen mit starken Vergrößerungen die Methode der Wahl (**WOODWARD**, 1871). **WOODWARD** hat auch die ersten Kollektorlinsen in die Mikrophotographie eingeführt, welche zwischen Lichtquelle und Mikroskopspiegel in Form einer achromatischen Sammellinse aufgestellt wurden und dadurch eine gleichmäßige Beleuchtung der Bildfläche ermöglicht haben. Mit dieser Einrichtung gelang es dann, die Belichtungszeit wesentlich zu verkürzen. Um die Leistungsfähigkeit der Mikroskope zu fördern, deren optische Teile damals ein sehr starkes sekundäres Spektrum gezeigt haben, hat **CASTRACANE** (1864) den Einfluß kurzwelliger monochromatischer Strahlen auf das Auflösungsvermögen des Mikroskops untersucht. Auch **WOODWARD** und **CURTIS** haben unabhängig von **CASTRACANE** ähnliche Untersuchungen vorgenommen. Während **CASTRACANE** (I), von **AMICI** angeleitet, zu seinen monochromatischen Versuchen Spektrallicht benutzt hat, haben **WOODWARD** und **CURTIS** einen flüssigen Lichtfilter aus Kupfersulfat-Ammoniaklösung hergestellt und so ein violettes monochromatisches Licht erzielt. Da alle diese Versuche mehr aus theoretischen als aus praktischen Gesichtspunkten mit einer Vorkehrung ausgeführt wurden, die für die biologischen Laboratorien nicht in Betracht kam (verdunkelter Raum nach **WENHAM**), haben sie auch eher auf die theoretisch-optischen Grundlagen der Methodik gewirkt als auf den Apparatebau und die mikrophotographische Praxis. Hier hat vor allem das mikrophotographische Verfahren von **G. FRITSCH** (I) einen bedeutenden Fortschritt herbeigeführt. Der Apparat von **FRITSCH**, eine horizontale Kamera bei waagrecht gestelltem Mikroskop, war die erste Einrichtung jener Art, wo die Kamera und das Mikroskop gesondert auf eigenen Gestellen untergebracht waren und nur durch einen lichtdichten Armel miteinander in Verbindung standen. Damit war für die erschütterungsfreie Aufstellung der Kamera weitgehend gesorgt. Man konnte am Mikroskop und an der Kamera bequem arbeiten, ohne daß Erschütterungen vom Mikroskop auf die Kamera oder umgekehrt übertragen wurden. Ein wesentlicher Vorteil war auch beim Apparat von **FRITSCH** seine Feineinstellung. Viele Schwierigkeiten früherer Mikrophotographien waren durch die Ermöglichung der Feineinstellung mit dem HOOKESCHEN Schlüssel beseitigt. An dieser Stelle sei auch eine sinnreiche Erfindung von **BOEMANS** (1869) erwähnt, welche die erste Konstruktion für die Beobachtung des Bildes während der photographischen

Aufnahme darstellt BOUMANS (7) hat einen leicht versilberten Spiegel benutzt, welcher unter  $45^{\circ}$  in den Tubus eingesetzt, einen (kleineren) Teil der Lichtstrahlen durch das Okular in das Auge des Beobachters durchgelassen hat, den Hauptteil des wirksamen Lichts aber durch ein seitlich angebrachtes Rohr in die Einstellebene der Kamera geworfen hat. Später (1886) wurde dieses Prinzip bei der Horizontalkamera von NACHET weiterentwickelt<sup>1</sup>, der Spiegel durch ein total reflektierendes Prisma ersetzt, dabei aber die ganze Vorrichtung durch Kombination eines waagrecht gestellten Mikroskops mit einem senkrecht stehenden und durch Ausrüstung des letzteren mit einem Nebentubus und Prisma unnötigerweise kompliziert. Immerhin war der mikrophotographische Apparat von NACHET der erste, mit dem man Momentaufnahmen von beweglichen mikroskopischen Objekten erzielen konnte. Auch sonst war der Apparat von NACHET in französischen und englischen Biologenkreisen rühmlich bekannt, obzwar der neuere, von der Firma SEIBERT und KRAFFT im Jahre 1882 angefertigte Apparat von FRITSCH in mehreren Beziehungen weit zweckmäßiger gebaut war. Für die Entwicklung der mikrophotographischen Apparate wie auch für die allgemeine Verbreitung der Mikrophotographie war der Apparat von FRITSCH schon deshalb von entscheidender Bedeutung, weil R. KOCH bei seinen berühmten Bakterienaufnahmen sich dieses Apparates bedient hat. Die Wirkung von KOCH als Mikrophotograph bildet in vielerlei Hinsicht einen Wendepunkt in der Geschichte der Mikrophotographie. Seine Aufnahmen, mit denen er die Leistungsfähigkeit der Methode bei so schwierigen Objekten wie Bakterien in bester Weise vor Augen führen konnte, mußten in hohem Maße auf die Mikrobiologen wirken und sie zur Aneignung der Methode anfeuern. Die allgemeine Einführung der Mikrophotographie in die mikroskopischen Forschungslabore ist zum wesentlichen Teil auf das Beispiel und die Propaganda von R. KOCH zurückzuführen, der schon 1877 den Bakteriologen die mikrophotographische Abbildung ihrer Objekte eindringlichst empfohlen hat. KOCH (7) hat jedoch nicht nur als überzeugter Anhänger der Methodik, sondern auch als hervorragender Kenner des Mikroskops fordernd auf die Mikrophotographie gewirkt. Er konnte die verlässlichsten Angaben machen für Aufnahmen mit starken (500—700fach) Vergrößerungen. Von ihm stammt auch die sehr bewährte Verbesserung am Apparat von FRITSCH, daß die Kamera durch einen Zwischenbalg mit dem Mikroskop verbunden wird, wodurch die subjektive Beobachtung des Bildes bei Aufnahmen mit großen Balganzügen wesentlich erleichtert wird. Die große Horizontalkamera der Firma ZEISS (Dr. ROBERT ZEISS) ist im wesentlichen nach den Erfahrungen aufgebaut, die R. KOCH mit diesem etwas modifizierten Apparat von G. FRITSCH gesammelt hatte.

In den siebziger und achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts waren neben den schon erwähnten Apparaten von FRITSCH und NACHET eine ganze Reihe brauchbarer mikrophotographischer Einrichtungen bekannt, die selbst vom heutigen Standpunkt aus beurteilt, gute Dienste leisten. In erster Reihe trifft das auf eine kleine Vertikalkamera von VAN HEUREK zu (ein Vorläufer der modernen Aufsatzkameras, vgl. S. 180), dann zum Teil auch auf die in England verbreitete Einrichtung von HARTING (7), die sich jedoch nur für schwache Vergrößerungen geeignet hat. Ebenfalls für ganz schwache Vergrößerungen hat W. HIS (7) eine Einrichtung angegeben (1887), die an die Methode von WENHAM erinnert und hauptsächlich für embryologische Aufnahmen bestimmt war. Allen diesen und ähnlichen Konstruktionen (MOLLER und EMMERICH<sup>2</sup> BOUMANS, CH. FAYET, O. RICHARD u. STURENBERG [7], M. HAUER [7] usw.)

<sup>1</sup> Zuerst beschrieben in Journ. Roy. Microsc. Soc. Ser. II 6 (1886).

<sup>2</sup> Zitiert nach DÜPPEL (7) jedoch nur in der 1. Aufl. von 1866.

kommt nur eine geringe Bedeutung zu, zum Teil deshalb, weil sie nichts prinzipiell Neues und Besseres geboten haben, als was schon bei den älteren Apparaten zu finden war, zum Teil deshalb, weil mit der Einführung der mikrophotographischen Apparate der Firma ZEISS alle Vorteile früherer Typen, mit den neueren Erfindungen im Mikroskopbau ergänzt, weit besser ausgenutzt werden konnten. Mit dem Erscheinen der mikrophotographischen Apparate von ZEISS (gleichzeitig mit der großen Horizontalkamera ist auch ein kleinerer Apparat für senkrecht gestellte Mikroskope nach FRANCOTTE gebaut worden) beginnt der dritte Abschnitt in der Geschichte der Mikrophotographie und reicht bis zu unseren Tagen.

Trotz der großen Vorzüge der modernen Konstruktionen, denen man bei den mikrophotographischen Apparaten der optischen Werke von ZEISS, LEITZ, REICHERT, WINKEL, WATSON usw. begegnet, wäre die Mikrophotographie kaum das vielbenutzte Forschungsmittel geworden, wenn nicht auch auf den Gebieten der mikroskopischen Optik, der photographischen Technik und der Beleuchtungsindustrie Fortschritte erzielt worden wären, welche die mikrophotographische Arbeit wesentlich vereinfachen und erleichtern. Mit der Herstellung der achromatischen und apochromatischen Linsensysteme (ERNST ABBE) hat die Mikrophotographie eine ebenso gewaltige Forderung erfahren wie die Mikroskopie überhaupt. Durch die sphärisch und chromatisch korrigierten Linsen war eine Reihe von Fehlerquellen ausgeschaltet worden, die früher, besonders bei stärkeren Vergrößerungen, die Anwendung der Methode nur auf ein kleines und spezielles Gebiet (Bakterien, Diatomeen, anorganische Objekte) eingeschränkt hat. Auch die moderne Mikrotechnik hat mit ihren dünnen, elektiv gefärbten Schnittpräparaten in dieser Richtung stark fördernd gewirkt. Einen ähnlichen entscheidenden Einfluß muß man auch der Entwicklung der künstlichen Beleuchtung zuschreiben, welche nach den sechziger Jahren erfolgt ist. Schon WOODWARD und MADDOX haben mit dem Magnesium- und Kalklicht günstige Erfahrungen gemacht, und JESERICH der 1888 ein Lehrbuch für Mikrophotographie herausgegeben hat, ist schon ein überzeugter Anhänger der Beleuchtung mit Kalklicht geworden. Die umständlichen und kostspieligen Beleuchtungsapparate der genannten Forscher wurden jedoch bald überflügelt als im Laufe der achtziger und neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts das AUER-Gaslicht und das elektrische Bogenlicht allgemein bekannt wurden<sup>1</sup>. So waren im wesentlichen die Hauptbedingungen erfüllt, welche nun einem brauchbaren mikrophotographischen Apparat gegenüber zu stellen pflegt. Selbstredend war die einwandfreie Beleuchtung im heutigen Sinn erst dann erreicht, als die Mikroskope nach dem Vorschlag von ABBE mit den nach ihm genannten Kondensoren gebaut wurden und als später (1893) A. KOHLER (I) die bis heute gültige Vorschrift zur richtigen Beleuchtung veröffentlicht hat. So war die Mikrophotographie bei der verbesserten Konstruktion des Apparats, der vervollkommenen Optik der Mikroskope und der Güte der Lichtquellen schon im letzten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts zu Leistungen befähigt, von denen die Mikrophotographien von E. VAN BENEDEN und A. NIEL (1887, Eier von *Ascaris meg.*), FRANKEL und PFEIFFER (I) E. B. WILSON (1895, Aufnahmen über die Befruchtung und Furchung der Seegeleier) oder die jüngeren von P. FRANCOTTE (1898, Furchung der *Polycladeneier*) ein bezeugtes Zeugnis abgeben<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> VAN HEURCK (I) war der erste, welcher schon 1880 das elektrische Licht für mikrophotographische Aufnahmen angewandt hat.

<sup>2</sup> Eine gute Zusammenstellung der in den Jahren 1840–1895 hergestellten mikrophotographischen Aufnahmen — namentlich derjenigen von deutschen Forschern — findet man bei R. NEUBAUSS (I).

Die Vorzüge der Vorrichtung und das technische Können der Mikrophographen bei diesen und ähnlichen, aus den letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts stammenden Aufnahmen muß man um so höher schätzen, als ihr Plattenmaterial mit dem heute erhältlichen keinen Vergleich verträgt. Immerhin waren die siebziger und achtziger Jahre auch für die Plattenindustrie von entscheidender Bedeutung. Nach zahlreichen Versuchen ist es 1871 R. L. MANDOX gelungen, mit der Bromsilber-Gelatine-Emulsion Trockenplatten herzustellen, welche lichtempfindlicher und weit handlicher waren als die nassen Kollodiumplatten. Es brauchte allerdings einige Zeit, bis die Bromsilber-Gelatine-Platten in die allgemeine Praxis übergingen, im Laufe der achtziger Jahre haben sie jedoch die Kollodiumplatten aus der Mikrophotographie schon fast gänzlich verdrängt. Nun wurde das Plattenmaterial noch dadurch wesentlich verbessert, daß man Methoden erfunden hat, die lichtempfindliche Schicht auch für andere Lichtstrahlen zu sensibilisieren als auf die ausgesprochen aktinischen Strahlen des Spektrums. So wurden auch die Schwierigkeiten behoben, welche durch die sog. chemische Fokusedifferenz in der Mikrophotographie bisher eine große Rolle gespielt haben (s. S. 129). Die Mikrophotographie verdankt vor allem ZERNOW eine ganze Anzahl grundlegender Feststellungen, und zwar sowohl, was die Sensibilisierung der Platten als auch was die Belichtung mit Lichtstrahlen von bestimmten Wellenlängen anbelangt (Lichtfilter s. S. 133). Nachdem so die Bedingungen zur Herstellung stark lichtempfindlicher iso- oder orthochromatischer Platten bekannt wurde, hat die industrielle Herstellung des Plattenmaterials einen raschen Aufschwung genommen und eine Höhe erreicht, bei der die Ausübung der Mikrophotographie in jedem biologischen Laboratorium ohne besondere Kosten und Schwierigkeiten möglich ist.

Zur Zeit, als Ende der achtziger Jahre die mikrophotographischen Apparate ihre bis heute gültige Form erhalten haben, war die Methodik noch die Kunst weniger Spezialisten. Das allmähliche Eindringen in die biologische Forschung und den Unterricht erfolgte erst im Lauf der darauffolgenden 30—40 Jahre. Trotz der geschilderten Verbesserungen war die Bedeutung der Methodik für die mikroskopischen Wissenschaften, insbesondere für die histologische Forschung, noch lange Zeit umstritten. Von einzelnen überzeugten Anhängern, wie R. KOCH, W. HIS, FR. NISSE, E. HOLMGREN, J. SOBOITA, O. GROSSER und anderen, abgesehen, stand die Mehrheit der Zytologen und Histologen wie z. B. auch FREMMING und APÉLHY, noch skeptisch oder verständnislos den Bestrebungen der Mikrophographen gegenüber. Die Forschergeneration, welche in einer strengen Schule des mikroskopischen Zeichnens aufgewachsen war und gerade im Zeichnen mikroskopischer Präparate einen wesentlichen Teil der Forschung erblickt hatte, konnte lange Zeit die richtige Bedeutung der Mikrophotographie nicht erkennen und hat deshalb von einigen speziellen Fällen abgesehen, der Zeichnung den Vorrang gegeben. Das man je nach dem Zweck, den man mit der Abbildung verfolgt, in der Wahl des Verfahrens vorgehen soll, daß es Fälle gibt, wo nur die Zeichnung andere, wo nur die Mikrophotographie am Platze ist und schließlich, daß bei einer ganzen Anzahl von Untersuchungen das Festhalten der Resultate einfacher und richtiger durch die Mikrophotographie als durch die Zeichnung erfolgen kann, ist den Forschern erst allmählich in den letzten Jahrzehnten bewußt geworden.<sup>1</sup>

Die allgemeine Verwendung der Mikrophotographie in der biologischen Forschung war zum Teil die natürliche Folge der eben geschilderten Entwicklung im Apparatebau und in der Photochemie. Es sind auch seit der Jahrhundert-

<sup>1</sup> Vgl. K. BILAU (1).

wende wesentliche Verbesserungen im Apparatebau vorgenommen worden, welche die Handhabung der Apparate bequemer gestaltet und die scharfe Abbildung des Objekts in vollkommener Form ermöglicht haben. Neben den großen teuren und bei all ihren Vorzügen immerhin schwerfälligen Horizontalkammern wurden von den Firmen ZEISS, LEITZ, REICHERT, WINKEL, BUSCH u. a. auch Vertikalkammern moderner Form gebaut, dazu noch als Zwischenform die sog. Horizontalvertikalapparate, welche die Vorteile beider Formen vereinen (s. S. 161). Eine der bedeutendsten Errungenschaften der letzten Jahre auf dem Gebiet des Apparatebaues war die Einführung der sog. Aufsatzkammern (*Phokor*, ZEISS 1922, *Maccam*, LEITZ 1924, *Mikrokamera* nach CERNY, REICHERT, *Aufsatzkamera* der Firma BUSCH u. a.).

In den letzten Jahren haben gerade die Aufsatzkammern am meisten zur Verbreitung der Mikrophotographie in den biologischen Laboratorien beigetragen, da man mit ihnen die photographische Abbildung des Objekts während der mikroskopischen Untersuchung bequem vornehmen kann (s. S. 166).

Die optische Ausüstung des Mikroskops für die mikrophotographische Arbeit wurde durch achromatische und zentrierbare Kondensoren von hoher Apertur durch spezielle Linsensysteme für Aufnahmen bei schwachen Vergrößerungen (s. S. 184) und durch Einführung von besonderen Okularsystemen noch weiter vervollkommen. Nicht gering ist auch der Vorteil einzuschätzen, den die großen optischen Werkstätten mit ihren vorzüglich ausgearbeiteten Vorschriften geboten haben, indem sie die Anwendung ihrer Linsen je nach dem Zweck der Aufnahme richtig angegeben und dadurch das Erlernen und die Ausübung der Methode sehr erleichtert haben.

Vielleicht noch entscheidender als die neuen Apparate haben die neuen Lichtquellen zur Verbreitung der Mikrophotographie stark beigetragen. An Stelle der AUER-Lampen und schwerfälligen Bogenlampen mit hoher Stromstärke sind im dritten Abschnitt der Entwicklung nach und nach die NERNST-Lampen, die regulierbaren Handbogenlampen, die Projektionsröhrenlampen, die Punktlichtlampen und die Niedervoltlampen getreten. Seit Anfang des Jahrhunderts war die Beleuchtungsfrage, welche in früheren Abschnitten das schwierigste Problem war, und welche den Aufbau der Apparate am meisten belastet hat, in der Mikrophotographie fast in idealer Weise gelöst. In einfacher und zweckmäßiger Form stand für mikrophotographische Zwecke eine gleichmäßig leuchtende, an aktinischen Strahlen reiche Lichtquelle mit einer solchen Lichtintensität zur Verfügung, daß man selbst bei stärksten Vergrößerungen mit einem Überfluß an Licht arbeiten konnte. Wer erst in den letzten Jahrzehnten die Mikrophotographie erlernt hat, kann sich schwerlich eine richtige Vorstellung davon machen, wie schwierig und umständlich es selbst noch am Ende des vorigen Jahrhunderts war, mit den damaligen AUER-Lampen oder Bogenlampen bei starken Vergrößerungen die Bildfläche gleichmäßig lichtstark zu beleuchten.

Alle diese kurz geschilderten Errungenschaften der Technik und Industrie hatten zweifellos allein schon genügt, um der Mikrophotographie als Abbildungsverfahren eine hervorragende Stellung in den mikroskopischen Wissenschaften zu sichern. Der Grund jedoch, warum die Mikrophotographie nicht nur als Abbildungs-, sondern auch als Forschungsverfahren in die Laboratorien allgemein eingeführt wurde, liegt tiefer, und zwar darin, daß seit Anfang des Jahrhunderts neue Forschungsrichtungen aufgeblüht sind, welche bei dem Festhalten ihrer Ergebnisse auf die Mikrophotographie angewiesen sind. Es genügt hier nur kurz auf die Ultramikroskopie oder Dunkelfeldmikroskopie zu verweisen, welche eine der wichtigsten Methoden der Bakteriologie und Zytologie geworden ist. Hier, wie übrigens auch bei der Polarisationsmikroskopie, die seit

einigen Jahren eine immer größere Bedeutung gewinnt, ist die Mikrophotographie das einzige Mittel, einwandfreie Belege zu erhalten. Fast ebenso wichtig ist jedoch die Mikrophotographie geworden für alle experimentellen Arbeiten in der Mikrobiologie, und gerade diese experimentelle Richtung beherrscht in jüngster Zeit die meisten mikroskopischen Wissenschaften. Stationäre Zustände, wie in den Dauerpräparaten, lassen sich auch zeichnerisch einwandfrei festhalten; die charakteristischen Erscheinungen am lebenden Objekt, besonders wenn sie einem ständigen Wechsel unterworfen sind, können jedoch nur photographisch naturgetreu wiedergegeben werden. Oft kommt es bei den heutigen Fragen und Methoden der Mikrobiologie gerade auf feine Form- und Strukturveränderungen an, deren beste zeichnerische Wiedergabe nicht so überzeugend wirken kann als die momentane Festhaltung durch die unparteiische photographische Linse. Bei zahlreichen Forschungsarbeiten der Bakteriologie, Gewebezucht, experimentellen Embryologie oder Pathologie hat heute nur mehr die Mikrophotographie als Abbildungsverfahren eine wissenschaftlich überzeugende Beweiskraft. In vielen Fällen solcher experimentellen Arbeiten befriedigt selbst die Mikrophotographie nicht restlos, da der feine Form- und Strukturwechsel sich nur bei fortlaufenden Serienaufnahmen, d. h. nur mikrokinematographisch, naturgetreu wiedergeben läßt. Schon in der zweiten Periode weist die Geschichte der Mikrophotographie Versuche auf, die als Vorläufer der Mikrokinematographie gelten können. Im Jahre 1888 hat ST. CAPRANICA (1) Serien von Momentaufnahmen mit dem mikrophotographischen Apparat von NACHET (mit seitlicher Beobachtung) gemacht, seine Versuche wurden jedoch lange Zeit nicht wiederholt, bis Anfang des Jahrhunderts dann COMMANDON und SIEDENTOPF die ersten richtigen mikrokinematographischen Aufnahmen eingeführt haben. Trotz der in den letzten Jahren von verschiedenen Firmen (PARHE, GAUMONT, ZEISS-Ikon u. a.) in den Handelsbetrieb gebrachten kleinen mikrokinematographischen Apparate (s. S. 364) ist die Methode nicht so allgemein verbreitet, wie sie bei ihrem großen Wert für Lehr- und Forschungszwecke verdienen würde. Der heutige Stand der Mikrokinematographie ähnelt vielfach dem Stand der Mikrophotographie in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts, wo es schon vorzügliche Apparate gegeben hat, diese jedoch viel zu teuer und umständlich waren. Auch die mikrokinematographische Einrichtung, soll sie einem ständigen Gebrauch im wissenschaftlichen Betrieb dienen, muß dieselbe gründliche Durcharbeitung erfahren und den Forderungen der Laboratoriumspraxis ebenso angepaßt werden, wie es mit den mikrophotographischen Apparaten im Laufe der letzten 40 Jahre geschehen ist. Viele Anzeichen sind dafür vorhanden, daß die Entwicklung in dieser Richtung auch für die Mikrokinematographie schon begonnen hat (vgl. S. 352).

## II. Das mikroskopische Bild.

**1. Einleitung.** Der grundsätzliche Unterschied zwischen einer makrophotographischen und einer mikrophotographischen Einrichtung ist darin zu erblicken, daß bei der letzteren das Abbildungssystem des Mikroskops die Rolle des photographischen Objektivs übernimmt. Das greifbare Zwischenbild, das man vom Objekt auf der Mattscheibe oder der photographischen Platte erzeugt, entsteht also nach den Gesetzen der mikroskopischen Optik durch Zusammenwirken der Objektiv- und der Okularlinse (bei Aufnahmen mit dem zusammengesetzten Mikroskop) oder auch oftters durch Abbildung mit dem Objektiv allein (bei Aufnahmen mit dem einfachen Mikroskop). Das so erzeugte Bild kann man gleichermaßen im Mikroskop subjektiv als scheinbares Bild betrachten und



als greifbares Bild mit einer photographischen Kamera auffangen. Das abbildende optische System, welches das Bild zur photographischen Aufnahme liefert, stellt also hier — wie übrigens auch in der Astrophotographie (vgl. dieses Handbuch VII, S. 102) — ein selbständiges optisches Gerät dar, welches gelegentlich mit einer photographischen Kamera verkoppelt wird, dessen Aufbau jedoch nach eigenen Gesetzen von den übrigen Bestandteilen der Einrichtung unabhängig erfolgt. Das Mikroskop ist als verdeutlichendes optisches Gerät in erster

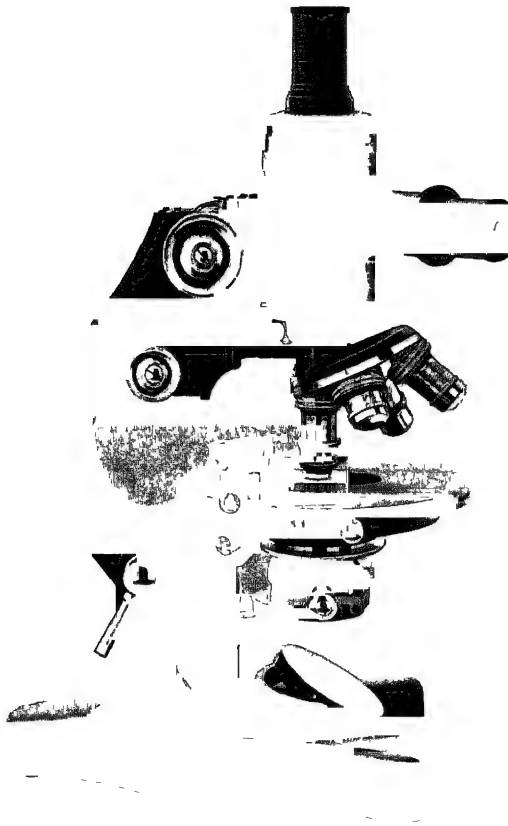


Abb. 2. Großes mikroskopisches Stativ der Firma E. LITZ mit breitem Tubus, Hilfstubus (vgl. S. 164) Kreuztisch und ABBESCHEM Beleuchtungsapparat.

Reihe für subjektive Beobachtungen bestimmt. Seine Verwendung zur Mikrophotographie und die Eingliederung in einen mikrophotographischen Apparat erfolgt ohne grundsätzliche Änderungen an der optischen Ausrüstung, die man sonst bei subjektiven Beobachtungen zu benutzen pflegt. Fast alle Formen der üblichen Mikroskopstative lassen sich auch zu mikrophotographischen Zwecken verwenden, am besten eignen sich allerdings dazu die sog. großen monokularen und monobjektiven Stative mit einem breiten Tubus (mikrophotographische Stative), mit einem vollständigen Beleuchtungsapparat (Spiegel, Kondensor und Irisblende), ferner mit einem großen zentrierbaren Kreuztisch oder einem mikrophotographischen Objekthalter (Abb. 2 u. 3).

Der breite Tubus bietet den doppelten Vorteil, daß man damit jegliche Spiegelung im Innern des Tubus (Innenlicht) verhindern und bei Aufnahmen mit ganz schwachen Vergrößerungen (s. S. 184) das zusammengesetzte Mikroskop

zu einem einfachen in bequemster Form umgestalten kann. Daß solche großen mikrophotographischen Stative auch in ihren feinmechanischen Teilen am grundlichsten durchgearbeitet und daher am besten geeignet sind, eine genaue und sich mit der Zeit nicht ändernde Einstellung zu erzielen, versteht sich von selbst. Es sei jedoch hier noch erwähnt, daß das Gelenk, in welchem der Oberteil des Stativs (Säule und Objektisch) auf dem Unterteil (Fußstück) umgekippt werden kann, bei den großen Stativen besonders verläßlich gestaltet ist, so daß bei längerem Verweilen in der waagerechten Lage die Schwere des Oberteiles von diesem Gelenk ohne die geringste Überdrehung getragen wird, was selbstverständlich bei Aufnahmen mit umgekipptem Stativ (waagerechte

Anordnung) von entscheidender Bedeutung ist. In dieser Hinsicht zeichnet sich vor allen anderen Formen die sog. Zweckform (Abb. 3) durch ihre günstige

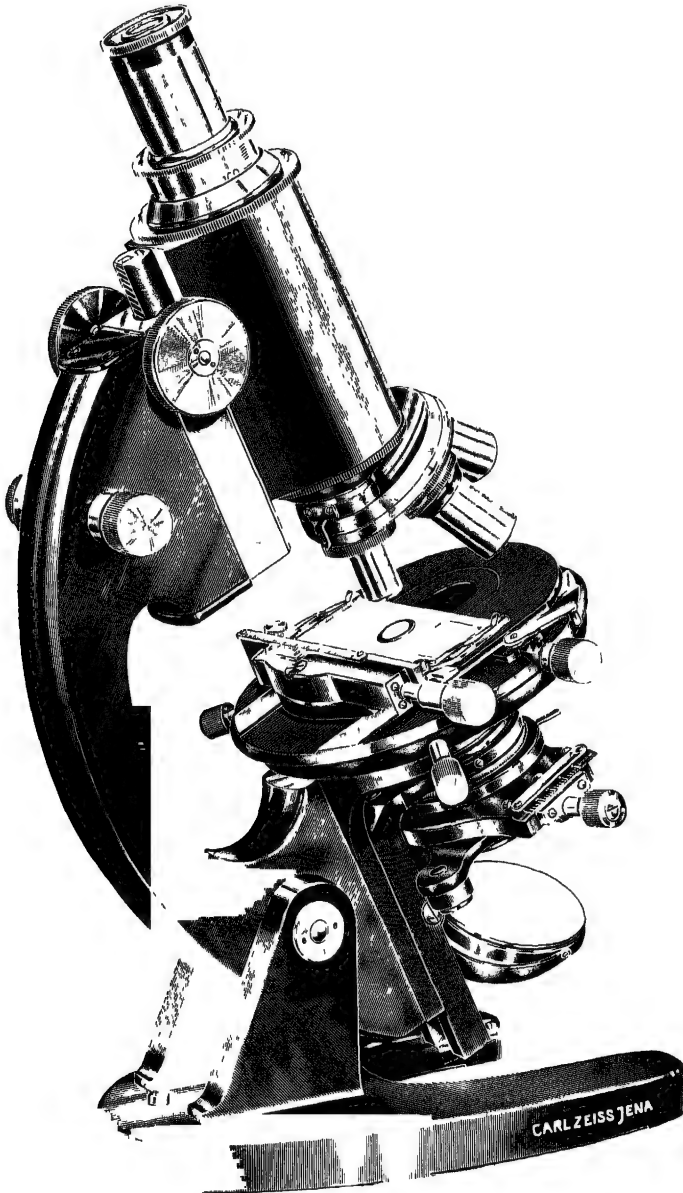


Abb. 3. Großes Mikroskop der Firma C. ZEISS mit weitem Tubus (600 mm) großem, zentral am Kreuztisch und Abwärtseinschieblichem Beleuchtungsapparat. Zweckform des Stativs.

Schwereverteilung aus, dank welcher beim Umklappen der Oberteil und der Unterteil miteinander in vollkommenem Gleichgewicht bleiben.

Ist ein solches Stativ mit den entsprechenden Objektiv- und Okularlinsen ausgerüstet, so erhält man bekannterweise das gewünschte vergrößerte Bild so

daß man das Objekt in einer zur Untersuchung geeigneten Form — meistens in der Form eines zwischen Tragglas (Objektträger) und Deckglas eingeschlossenen durchsichtigen Präparates — auf den Objektisch stellt, aus einer lichtstarken Lichtquelle mit Hilfe des Beleuchtungsapparates durchleuchtet (Beleuchtung in durchfallendem Licht) und die von der Lichtquelle durch das Objekt in das

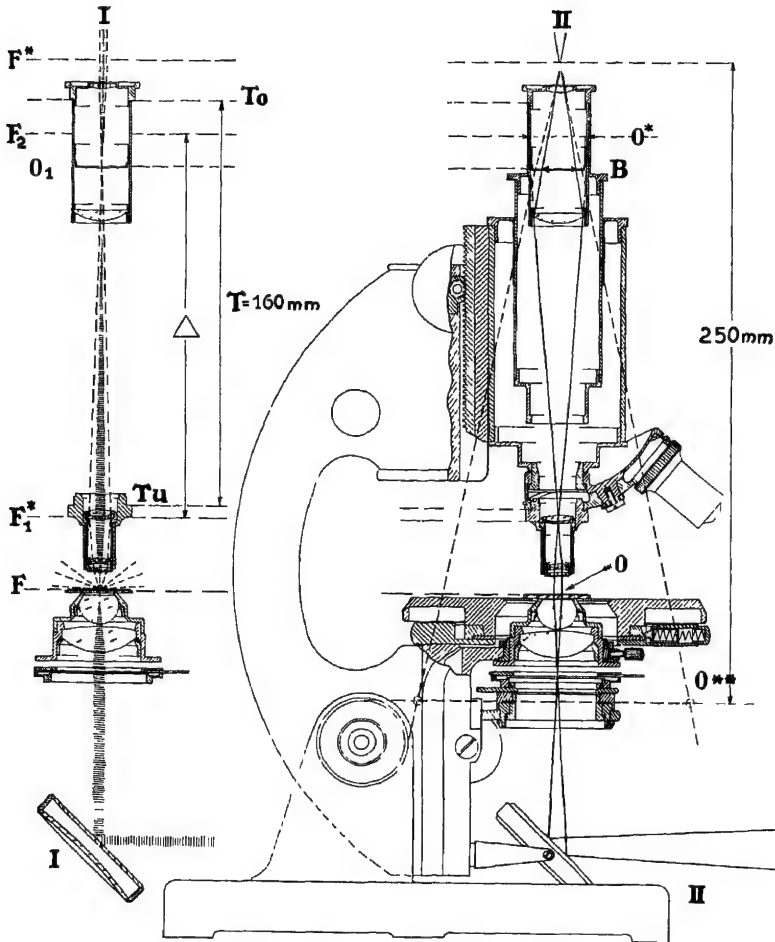


Abb 4

I Strahlengang für die Abbildung eines Objektpunktes II Strahlengang für die Begrenzung des Schiefbildes  
 $F_1^*$  — hintere Brennebene des Okulars  $F_2$  — vordere Brennebene des Objektivs  $O^*$ ,  $F^*$  — hintere Brennebene des ganzen Mikroskopes,  $\Delta$  — optische Tubuslänge,  $T$  — mechanische Tubuslänge  $O$  — Objekt (in I der vordere Brennebene des ganzen Mikroskopes)  $O^*$  = Ebene in der das Einzelbild des Objektivs allein ohne Okular entstehen würde =  $f$   $O^{**}$  — Projektion des mikroskopischen Bildes in die Entfernung der deutlichen Schwere  $B$  = Okularblende und Ort des reellen Zwischenbildes  $O_1$ ,  $O_2$  — Ort des reellen Zwischenbildes  $B$ .  
 Der RAMSDENSche Kreis liegt in der Höhe von  $F^*$  (Aus ZEISS-Druckschnitt Mikro 100)

Abbildungssystem übermittelten Strahlen erst mit der Objektlinse zum sog. Zwischenbild vereinigt, dann dieses mit der Okularlinse noch weiter vergrößert (Abb 4). So erhält man schließlich als Endergebnis der Strahlungsvermittlung und Strahlenvereinigung (Abb 7) das mikroskopische Bild, dessen photographische Wiedergabe die besondere Aufgabe der Mikrophotographie bedient.

Die eigentlichen Handlungen des Mikrophotographen beginnen erst, wenn das mikroskopische Bild subjektiv scharf eingestellt und richtig beleuchtet ist. Nach welchen Gesetzen und unter welchen Bedingungen dies erfolgt, soll hier in den auf das mikrophotographische Verfahren begrenzten Abschnitten nicht näher untersucht werden. Über diese Fragen, d. h. über die Einzelheiten im Aufbau des Mikroskops und bei der Entstehung des mikroskopischen Bildes erhält man die nötigen Kenntnisse am besten aus den zusammenfassenden Darstellungen der mikroskopischen Optik<sup>1</sup>, von denen hier in erster Reihe auf die klassischen Werke von A. KOHLER (6, 9) hingewiesen sei.

In den folgenden Ausführungen werden also die optischen Gesetze und Begriffe, welche beim Abbildungsvorgang im Mikroskop und bei der Bilderzeugung im Sinne der ABBESchen Theorie maßgebend sind, als bekannt vorausgesetzt. Wir wollen das vom Mikroskop gelieferte Bild aus dem Gesichtspunkt des Mikrophotographen als etwas Gegebenes betrachten und uns nur auf die Untersuchung der Bedingungen beschränken, bei denen dieses Bild auf der photographischen Platte in gunstigster Weise, d. h. so festgehalten werden kann, daß man vom Objekt denselben Eindruck gewinnt, den man von ihm bei einer subjektiven Beobachtung im Mikroskop gewinnen würde.

Dieser Forderung kann verständlicherweise nur in den seltensten Fällen restlos entsprochen werden, da die Lichtwirkungen, die man vom Objekt bei subjektiver Beobachtung unmittelbar mit dem Auge empfängt, unvergleichlich wirkungsvoller sind als die Helligkeitsunterschiede, die man nach einem photochemischen Vorgang im Lichtbild erblickt. Die optische Wirkung des mikroskopischen Bildes läßt sich auf photographischem Wege noch am getreuesten mit Glasbildern (Diapositiven) wiedergeben, wo die Strahlenvermittlung im großen und ganzen ähnlich erfolgt wie bei einer subjektiven Beobachtung im durchfallendem Licht.

Eine weitere und grundsätzliche Schwierigkeit bei der photographischen Wiedergabe des mikroskopischen Bildes liegt darin, daß die photographische Platte die unvermeidlichen Abweichungen von der idealen (punktuellen) Abbildung weit stärker zum Ausdruck bringt, als man sie subjektiv bei einer einwandfreien Optik im Mikroskop wahrzunehmen gewohnt ist. Bei der subjektiven Betrachtung des Bildes im Mikroskop wirken nämlich physiologische und psychische Faktoren auf die Wahrnehmung ein (Rekonstruktion des scharfen Bildes im Geiste aus mehreren Einstellungsebenen, Konzentration der Aufmerksamkeit auf die Stelle der scharfsten Einstellung, Akkommodation), die natürlicherweise bei der Abbildung auf der lichtempfindlichen Schicht wegfallen. Allerdings hat die strenge Unparteilichkeit und die im Vergleich zum Auge höhere Empfindlichkeit der photographischen Platte den kurzweiligen Strahlen gegenüber besondere Vorteile (s. S. 129). Bei einwandfreier Optik und Beleuchtung bekommt man im Lichtbild oft Einzelheiten aus dem Feingefüge des Objekts zu Gesicht, die man subjektiv überhaupt nicht oder nicht so deutlich wahrgenommen hat. Im allgemeinen erscheint jedoch das subjektiv beobachtete mikroskopische Bild stets scharfer als sein Lichtbild, namentlich bei Aufnahmen mit starken Vergrößerungen.

Schließlich sei auch hier schon erwähnt, worauf des weiteren noch öfters hingewiesen wird (s. S. 130 und 390), daß das meist benutzte schwarz-weiße Verfahren eine der charakteristischsten Eigenschaften der Objekte, nämlich ihre Farben, nicht naturgetreu wiederzugeben vermag. Soweit man also keine Licht-

<sup>1</sup> Z. B. H. BOECHOLD (1) im Sammelwerk von CZAPSKI u. LIPPENSTEIN (1) I. DIPPET (1) HÄGER-TOBIER (1) P. MEIZNER (1) und M. A. ROHR (2).

bilder in natürlichen Farben erzeugt, wird das Lichtbild gefarbter Objekte nur das sog. Strukturbild vollständig wiedergeben, während das Farbenbild mehr oder weniger tonrichtig aber nur durch Abtonung und daher stets unvollkommen im Schwarz-Weiß zum Ausdruck gelangt

Aus diesen allgemeinen Betrachtungen dürfte schon einleuchten, daß die Bedingungen für die Erzeugung eines Lichtbildes von einem mikroskopischen Objekt vielfach ungünstiger sind als bei der Erzeugung des mikroskopischen Bildes für die subjektive Beobachtung. Das Streben des Mikrophotographen muß daher in der Hauptsache darauf gerichtet sein, daß das im Mikroskop subjektiv eingestellte Bild bei den spezifischen mikrophotographischen Handlungen, während man aus dem scheinbaren Bild das greifbare Bild in der Mattscheibenebene erzeugt, an Güte nichts einbußt und in einer graphisch wirksamen Form festgehalten wird.

Welche Grundeigenschaften des mikroskopischen Bildes sind es nun, welche dabei zu berücksichtigen sind? Man pflegt im einzelnen das mikroskopische Bild zu beurteilen nach seinem Abbildungsmaß oder der Vergrößerung, nach der Abbildungsscharfe, der Lichtstärke, der optischen Auflösung und schließlich nach seiner Kontrastwirkung. Sind alle diese Eigenschaften in der erzielbaren besten Form vorhanden, so spricht man von einem deutlichen oder gut definierten mikroskopischen Bild (s. Faktoriendiagramm, S. 24).

**2. Der Abbildungsmaßstab** (vgl. Tabelle 1). Die Vergrößerung ist das Produkt der Objektiv- und der Okularvergrößerung bei 160 mm Tubuslänge nach der Gleichung

$$V_m = - \frac{L}{f_1} \cdot \frac{250}{f_2}, \quad (1)$$

wo das erste Glied auf der rechten Seite der Gleichung die Einzelvergrößerung des Objektivs, das zweite Glied die Okularvergrößerung<sup>1</sup> (angulare Vergrößerung),  $L$  die optische Tubuslänge,  $f_1$  und  $f_2$  die Brennweiten darstellen. Aus der Gleichung ist ersichtlich, daß das Vergrößerungsvermögen des Mikroskops bei gleichbleibender Tubuslänge von den Brennweiten der am abbildenden System beteiligten Linsen abhängig ist, und zwar in umgekehrtem Verhältnis zu diesen. Bei subjektiver Beobachtung, wo das scheinbare Bild durch die Austrittspupille des Mikroskops (Augenpunkt, RAMSDENSchen Kreis) hindurch mit dem Auge aufgefangen wird, hängt der Abbildungsmaßstab nur von den in Gl. 1 enthaltenen Faktoren ab; bei der mikrophotographischen Aufnahme jedoch, wo das greifbare Bild bald nahe zur Austrittspupille, bald weiter davon aufgefangen wird, tritt noch ein weiterer Faktor, nämlich die Vergrößerung durch den Abstand, d. h. durch die Kameralänge, dazu. Ferner sei daran erinnert, daß das Vergrößerungsmaß des scheinbaren (subjektiven) Bildes sich aus der vom Objektiv geheferten linearen und aus der vom Okular erzeugten angularen Vergrößerung ergibt, während dasjenige des greifbaren Bildes in der Mattscheibenebene eine reine lineare, nach Längeneinheiten meßbare Vergrößerung darstellt.

**3. Die Abbildungsscharfe.** Als Abbildungsscharfe bezeichnet man die Eigenschaft, bei welcher die aus den einzelnen Dingpunkten ausgesandten Strahlen in der Bildebene wieder in einzelne Punkte vereinigt werden (punktuelle Strahlenvereinigung). Je vollkommener die Lichtenergie (Lichtstrom, Lichtbündel), welche aus den Dingpunkten in die Eintrittspupille des Mikroskops gelangt, von den Linsenfolgen zu koordinierten oder kollinearen Bildpunkten vereinigt wird, um so größer ist die Abbildungsscharfe und um so eher entspricht sie den Forderungen einer idealen Abbildung. Diese für jede Art

<sup>1</sup> Nach A. KOHLER [9, S. 246, Gl. (93)] der Lupenvergrößerung des Okulars.

Tabelle 1 Vergrößerungstabelle für die Mikroskopobjektive und Okulare der Zeiss-Werke

Achromatische Objektive	HUYGENSsche Okulare					Orthoskopische Okulare					Kompensationsokulare					
	4	5	7	10	15	12,5	17	25	3	5	7	10	15	20	30	
Trocken- systeme	1-1,5	4-6	5-7	7-10	10-15	15-22,5	12,5-19	17-25	28-42							
	1-1,5	6-8	7-10	10,5-14	15-20	22,5-30	19-25	25-34	42-56							
	1,2-2,4	4-8	6-12	5,5-17	12-24	18-36	15-30	20-40	34-68							
	2	8	10	14	20	45	25	34	56							
	3	12	15	21	30	45	37,5	51	84							
	5	20	25	35	50	75	62,5	85	140							
	6	24	30	42	60	90	75	102	168							
	8	32	40	56	80	120	100	136	224							
	10	40	50	70	100	150	125	170	280							
	20	80	100	140	200	300	250	340	560							
Wasser- mimet- systeme	40	160	200	280	400	600	500	680	1120							
	40	160	200	280	400	600	500	680	1120							
	40	160	200	280	400	600	500	680	1120							
	40	160	200	280	400	600	500	680	1120							
	60	240	300	420	600	900	750	1020	1680							
	90	360	450	630	900	1350	1125	1530	2520							
	6	24	30	42	60	90	75	102	168							
	40	160	200	280	400	600	500	680	1120							
	90	360	450	630	900	1350	1125	1530	2520							
	100	400	500	700	1000	1500	1250	1700	2800							
Homo- gene Ol- mimet- systeme	50	200	250	350	500	750	625	850	1400							
	90	360	450	630	900	1350	1125	1530	2520							
	100	400	500	700	1000	1500	1250	1700	2800							
	50	200	250	350	500	750	625	850	1400							
	90	360	450	630	900	1350	1125	1530	2520							
	100	400	500	700	1000	1500	1250	1700	2800							
	50	200	250	350	500	750	625	850	1400							
	90	360	450	630	900	1350	1125	1530	2520							
	100	400	500	700	1000	1500	1250	1700	2800							
	100	400	500	700	1000	1500	1250	1700	2800							
Apochromatische Objektive	5	15	25	35	7	10	15	20	30							
	10	30	50	70	140	200	150	200	300							
	20	60	100	140	280	400	300	400	600							
	40	120	200	280	560	800	600	800	1200							
	60	180	300	420	840	1200	900	1200	1800							
	70	210	350	490	980	1400	1050	1400	2100							
	10	30	50	70	140	200	150	200	300							
	20	60	100	140	280	400	300	400	600							
	40	120	200	280	560	800	600	800	1200							
	60	180	300	420	840	1200	900	1200	1800							
Trocken- systeme	5	15	25	35	7	10	15	20	30							
	10	30	50	70	140	200	150	200	300							
	20	60	100	140	280	400	300	400	600							
	40	120	200	280	560	800	600	800	1200							
	60	180	300	420	840	1200	900	1200	1800							
	70	210	350	490	980	1400	1050	1400	2100							
	10	30	50	70	140	200	150	200	300							
	20	60	100	140	280	400	300	400	600							
	40	120	200	280	560	800	600	800	1200							
	60	180	300	420	840	1200	900	1200	1800							
Wasser- mimet- systeme	5	15	25	35	7	10	15	20	30							
	10	30	50	70	140	200	150	200	300							
	20	60	100	140	280	400	300	400	600							
	40	120	200	280	560	800	600	800	1200							
	60	180	300	420	840	1200	900	1200	1800							
	70	210	350	490	980	1400	1050	1400	2100							
	10	30	50	70	140	200	150	200	300							
	20	60	100	140	280	400	300	400	600							
	40	120	200	280	560	800	600	800	1200							
	60	180	300	420	840	1200	900	1200	1800							
Homo- gene Ol- mimet- systeme	5	15	25	35	7	10	15	20	30							
	10	30	50	70	140	200	150	200	300							
	20	60	100	140	280	400	300	400	600							
	40	120	200	280	560	800	600	800	1200							
	60	180	300	420	840	1200	900	1200	1800							
	70	210	350	490	980	1400	1050	1400	2100							
	10	30	50	70	140	200	150	200	300							
	20	60	100	140	280	400	300	400	600							
	40	120	200	280	560	800	600	800	1200							
	60	180	300	420	840	1200	900	1200	1800							

optischer Abbildung entscheidende Eigenschaft ist allein und unmittelbar davon abhängig, wie weit die Abweichungen von einer idealen Abbildung der Farbenfehler der Vergrößerung, der monochromatische Kugelgestaltfehler und die chromatische Differenz des Kugelgestaltfehlers, ferner der Astigmatismus der schiefen Lichtbündel und die Bildfeldkrümmung im abbildenden optischen System durch entsprechende (korrigierte) Linsenfolgen und durch eine richtig bemessene Strahlenbegrenzung auf das Mindestmaß beschränkt sind (vgl. dieses Handbuch I)

Die Menge des Lichtstroms, der in das optische System des Mikroskops gelangt und aus dem das Bild entsteht, ist bestimmt durch die Öffnung der Objektivlinse ( $a$  = Größe der Eintrittspupille, Apertur der Abbildung,  $\sin$  des halben Öffnungswinkels  $u$ ), ferner durch die Brechungszahl des Mittels zwischen Objekt und Objektivlinse ( $n$  im Zwischenraum). Das Produkt dieser zwei Faktoren ergibt die Öffnungszahl oder die numerische Apertur (num Ap)  $n \sin u$ . ABBE hat festgestellt, daß die Bedingungen einer fehlerfreien Abbildung im Mikroskop dann erfüllt sind, wenn die Menge des Lichtstroms zwischen der Eintritts- und der Austrittspupille die gleiche bleibt, d. h. innerhalb des abbildenden Systems kein Verlust an Strahlen auftritt. Dieses als Sinusbedingung bekannte Grundgesetz, welches den ganzen Aufbau des Mikroskops und die Zusammensetzung der Linsenfolgen beherrscht, ist in der Gleichung ausgedrückt

$$n \cdot \sin u = N \sin u_1. \quad (2)^1$$

Gl 2 weist klar darauf hin, daß die num Ap für die Leistungsfähigkeit des ganzen Mikroskops von entscheidender Bedeutung ist<sup>2</sup>. Aus der Größe des Zahlenwertes, den man bei verschiedenen Linsenfolgen als Öffnungszahl erhält, kann man also auf den geringeren oder höheren Grad der Korrektion und demnach auch auf die Abbildungsschärfe schließen, die man mit der betreffenden Linsenfolge erzielen wird.

Verstandlicherweise ist die num Ap in der Hauptsache von der Beschaffenheit der Objektivlinse abhängig, denn die Eintrittspupille des Objektivs liefert ja die Eintrittspupille des ganzen Mikroskops und bestimmt dadurch, zusammen mit der Brechungszahl im Zwischenraum, den zur Bildherzeugung zugelassenen Lichtstrom. Da jedoch die Austrittspupille des Mikroskops von der Austrittspupille des Okulars geliefert wird, kann die an den Objektivlinsen angegebene num Ap nur dann als Maßstab für den Korrektionszustand und die scharfe Abbildung gelten, wenn die Sinusbedingung [Gl (2)] im ganzen abbildenden System tatsächlich erfüllt ist und bei der Okularvergrößerung durch Abweichungen kein Verlust an Strahlen erfolgt. Von entscheidendem Einfluß auf die Abbildungsschärfe ist es deshalb, daß man zu den Objektivlinsen, namentlich zu den Apochromaten von höheren Aperturen, nur passende Okularlinsen benutzt, welche die im Zwischenbild etwa noch vorhandenen Fehler der Abbildung (Bildfeldkrümmung, Farbenfehler der Apochromate) auszugleichen vermögen (Kompensationsokulare, periplanatische Okulare, Homale).

**4. Die Tiefschärfe.** Besondere Schwierigkeiten bietet bekanntlich die scharfe Abbildung körperlicher Objekte. Obwohl die Objekte der Mikroskopie hierfür noch die günstigsten Bedingungen bieten, da sie im allgemeinen dünn planparallele Schichten bilden, wirkt ihre Tiefenausdehnung bei stärkeren Vergrößerungen doch recht störend, was bei subjektiver Beobachtung, wo die Möglichkeit der stufenweisen Einstellung gegeben ist, weniger auffällt als bei der

<sup>1</sup> KOHLER A [6 S 217, Gl (45)]  $n$  bedeutet hier die Brechungszahl im Objekttraum,  $N$  die lineare Vergrößerung des Zwischenbildes.

<sup>2</sup> Ihre Beziehung zur relativen Öffnung der photographischen Objektive S. 8 22

mikrophotographischen Aufnahme mit einer einzigen Einstellung. Es sei deshalb aus der mikroskopischen Optik daran erinnert, daß die Tiefenschärfe (Fokustiefe, Penetrationsfähigkeit), d. h. die Fähigkeit, mehrere aufeinanderfolgende optische Querschnitte des Objektes bei einer und derselben Einstellung scharf abzubilden, in der Hauptsache von der num. Ap. des Objektivs bestimmt wird, und zwar steht sie mit dieser in umgekehrtem Verhältnis.

Nach M. BERKE<sup>1</sup> erhält man die Tiefenschärfe ( $T_f$ ) beim zusammengesetzten Mikroskop nach folgender Gleichung

$$T_f = \frac{n}{a} \frac{z}{V} \quad (3)$$

In der Gl. (3) bedeuten  $a$  die Apertur des abbildenden Systems,  $V$  die Gesamtvergrößerung,  $n$  die Brechungszahl im Zwischenraum und  $z$  den Durchmesser des aus der deutlichen Sehweite noch punktförmig erscheinenden Zerstreuungskreises. Sind die Werte für  $n$ ,  $a$  und  $V$  bekannt, und setzt man für  $z = 0,25$  mm ein, so läßt sich die Tiefenausdehnung berechnen, bei welcher die Linsenfolge noch ein für das normalsichtige Auge scharfes Bild zu liefern vermag. Man erhält z. B. als Tiefenschärfe bei einem Wasserimmersionsobjektiv ( $a = 1,20$ ,  $n = 1,33$ ) und einem mittelstarken Okular ( $V = 725$ ) den Wert  $T_f = 0,38 \mu$ , während ein schwaches Trockensystem ( $a = 0,25$ ,  $n = 1$ ) mit demselben Okular ( $V = 82$ ) den Wert  $T_f = 12,2 \mu$  ergibt. Beim Trockensystem erhält man also von einer  $12,2 \mu$  dicken Schicht noch ein scharfes Bild, während bei der Wasserimmersionslinse die Schicht  $0,38 \mu$  dünn sein muß, um sie in ihrer ganzen Tiefenausdehnung scharf abbilden zu können.

Die Tiefenschärfe der aplanatischen Lupen wird nach A. KOHLER<sup>2</sup> durch die Gleichung bestimmt

$$T_f = \frac{18,7}{p_n} \frac{1}{V^2} \cos u \text{ mm}, \quad (4)$$

wo  $p_n$  den Halbmesser der Austrittspupille und  $V$  die Vergrößerung bedeutet. Man entnimmt daraus, daß die Tiefenschärfe mit dem Quadrat der Vergrößerung ( $V$ ) abnimmt. Je kleiner die Brennweite des Objektivs und je stärker also die Vergrößerung ist, um so kleiner ist die Tiefenausdehnung, bei welcher das Auge aus der normalen Sehweite akkommodationsfrei das Abbild noch scharf wahrnimmt.

In den Gl. (3) und (4) ist das Verhältnis festgelegt, in welchem Objektgröße, Eintrittspupille und Brennweite der Linse zueinander stehen müssen, damit man von der ganzen Tiefenausdehnung des körperlichen Objekts eine ausreichend scharfe zweidimensionale Abbildung erhalte.

Die besondere Bedeutung der Tiefenschärfe bei der scharfen Einstellung des Mattscheibenbildes wird auf S. 89, der Einfluß der Wellenlänge des Lichtes auf S. 129 eingehend erörtert.

**5 Die Helligkeit oder die Lichtstärke.** Die Helligkeit des Bildes, von der seine Wirkung auf das Auge oder auf die photographische Platte abhängt, wird als Flächenhelligkeit ( $\phi$ ) bei leuchtenden Flächen in HERTZ-Keizen bei beleuchteten Flächen in Lux-Einheiten ausgedrückt nach der Gleichung

$$\phi = \pi I \sin^2 u \, ds, \quad (5)$$

Wo  $\phi$  die Beleuchtungsstärke oder Flächenhelligkeit des Flächenelements  $ds$ ,  $I$  die Leuchtkraft (Intensität) der Lichtquelle und  $\sin^2 u$  die Öffnung des

<sup>1</sup> Vgl. M. BERKE (*I*) und P. MEIßNER (*I* S. 21).

<sup>2</sup> Vgl. KOHLER [*9* S. 235, Gl. (71)].



Lichtstroms bedeuten. Aus Gl (5) entnehmen wir, daß die Helligkeit des Bildes von der Leuchtkraft und der Flächengröße des Strahlers (Leuchtfläche), ferner von der Apertur des Abbildungssystems abhängt, und zwar steht sie mit der Quadrat der letzteren in geradem Verhältnis.

Da im Sinne der Sinusbedingung die Menge des Lichtstroms innerhalb eines fehlerfreien Abbildungssystems die gleiche bleibt, so wird die Flächenhelligkeit des Bildes in der Austrittspupille ( $\phi'$ ) dieselbe sein, wie sie in der Eintrittspupille war ( $\phi$ ), falls die Sinusbedingung bei der Abbildung erfüllt ist

$$\begin{aligned} \phi &= \phi' \\ \pi J \cdot \sin^2 u \, ds &= \pi J \sin^2 u' \, ds' \end{aligned} \quad (6)$$

$J$ , die Leuchtkraft des Strahlers, ist als konstant zu betrachten, Gl (6) kann also geschrieben werden

$$\sin^2 u \, ds = \sin^2 u' \, ds',$$

woraus folgt, daß

$$\frac{\sin^2 u}{\sin^2 u'} = \frac{ds'}{ds} \quad (7)$$

$ds$  bedeutet hier ein Flächenelement der Eintrittspupille,  $ds'$  das ihm koordinierte Flächenelement in der Austrittspupille. Ihr Verhältnis zueinander drückt also die durch das optische System bewirkte Flächenvergrößerung  $N^2$  aus

$$\frac{\sin^2 u}{\sin^2 u'} = N^2 \quad (8)$$

Zieht man auf beiden Seiten der Gleichung die Wurzel, so erhält man die Beziehungen zwischen den Sinuswerten der halben Öffnungswinkel (Apertur des Lichtstroms im Dingraum =  $\sin u$ , Apertur des Lichtstroms im Bildraum =  $\sin u'$  und der linearen Vergrößerung  $N$  [s. S. 16 (2)]

Aus den Gl 7 und 8 entnehmen wir, daß die Lichtstärke oder Flächenhelligkeit des Bildes mit dem Quadrat der num. Ap. in geradem<sup>2</sup>, mit der Quadrat der linearen Vergrößerung, d. h. mit der Flächenvergrößerung jedoch in umgekehrtem Verhältnis steht.

Bei subjektiver Beobachtung, wo die Strahlen in der Austrittspupille mit der Auge aufgefangen werden, genügen die in den Gl (5) bis (8) enthaltenen Faktoren restlos zur Bestimmung der Flächenhelligkeit des vergrößerten scheinbaren Bildes. In der Mikrophotographie jedoch wird das greifbare Bild in einem wechselnden Abstand zur Austrittspupille des Mikroskops aufgefangen, hier muß daher noch die Entfernung der Mattscheibenebene von der Eintrittspupille oder von der Einstellebene des Mikroskops berücksichtigt werden. Die Flächenhelligkeit des Bildes steht dann nach bekannten optischen Gesetzen (LAMBERT'schem Grundgesetz) mit dem Quadrat der Entfernung in umgekehrtem Verhältnis.

Zusammenfassend sei also festgestellt, daß die Helligkeit des Bildes bei der mikrophotographischen Aufnahme von 3 Faktoren bedingt ist, diese sind

1 Die Beleuchtung, d. h. die Leuchtkraft der Lichtquelle und die Apertur mit welcher die Strahlen durch die Beleuchtungsanordnung zum Objekt übermittelt werden

2 Die num. Ap. der Objektivlinse

3 Die Kammerlänge oder der Objektiv-Bild-Abstand

<sup>1</sup> Vgl. A. KOHLER [9, S. 219, Gl (23) und (24)]

<sup>2</sup> Genau genommen nur mit dem Quadrat der Apertur der Abbildung, deren Wert aber in der num. Apertur ( $n \sin u$ ) restlos enthalten ist.

Über die Bedeutung der Helligkeit für die Kontrastwirkung des Bildes und die Beziehungen zwischen den Strahlen der Beleuchtung und der Abbildung s. S. 22 ff.

**6. Die optische Auflösung.** Die Fähigkeit des optischen Systems, zwei benachbarte Dingpunkte so abzubilden, daß man sie im Bilde noch als zwei getrennte Bildpunkte wahrnimmt, nennt man das optische Auflösungsvermögen. Von dieser Eigenschaft hängt es ab, wie weit die Einzelheiten und Feinheiten im Gefüge des Objekts in seinem Abbild enthalten sind. Bekanntlich enthält ein mit fehlerfreier Optik erzeugtes Lichtbild schon bei der kleinsten Bildfläche alle Formelemente des aufgenommenen Gegenstandes. Wird das Bild weiter vergrößert, so treten die Einzelheiten deutlich hervor, und man erblickt im vergrößerten Bild Feinheiten, die man ursprünglich in der Aufnahme nicht wahrnehmen konnte. Bei einer bestimmten Grenze hört dieser Vorteil der Bildvergrößerung auf. Die weitere Vergrößerung bringt keine weiteren Einzelheiten mehr zum Vorschein, dagegen wird die Zeichnung des Bildes unscharf, und die Kontraste in der Lichtverteilung (graphische Kontraste) erscheinen flau. Man spricht dann von einer leeren Vergrößerung im Gegensatz zur förderlichen oder nutzbaren Vergrößerung, welche die im Abbild enthaltenen Einzelheiten scharf und deutlich zum Vorschein bringt.

Die optische Auflösung hat begrifflicherweise eine entscheidende Bedeutung in der Mikroskopie, deren Ziel gerade die Verdeutlichung feinsten Strukturelemente ist. Der Abbildungsmaßstab und die Objektähnlichkeit sind im Sinne der ABBEschen Theorie streng davon abhängig, wie weit das abbildende System die Formelemente im Gefüge des Objekts noch aufzulösen, d. h. für die Beobachtung sichtbar zu gestalten vermag. Je kleiner der Zwischenraum oder der Abstand ( $e$ ) zwischen zwei Formelementen, z. B. zwei Körnchen oder Fadchen, ist, um so höher muß das Auflösungsvermögen des Mikroskops sein, um diese im Bilde als zwei getrennte Punkte oder Linien deutlich darzustellen. Welche physikalischen Vorgänge dabei mitspielen und in welchem Zusammenhang die Objektähnlichkeit mit der optischen Auflösung, diese aber mit der an der Objektstruktur erfolgten Beugung der Lichtstrahlen steht, braucht hier nicht näher erörtert zu werden<sup>1</sup>. Es genügt, die Gleichung anzuführen, welche die maßgebenden Faktoren und ihre Beziehungen zueinander aufweist:

$$e = \frac{\lambda_0}{2n \sin u} = \frac{\lambda_0}{2\alpha} \quad (9)^2$$

Man entnimmt daraus, daß die Größe von  $e$  mit der Wellenlänge der Lichtstrahlen in geradem, mit der Apertur des Abbildungssystems  $\alpha$  aber in umgekehrtem Verhältnis steht, was soviel bedeutet, daß je größer die Apertur der Objektlinse ist und je kürzer die Wellenlänge der Strahlen, welche von den Formelementen des Objekts in die Eintrittspupille gelangen, um so kleiner kann der Abstand  $e$  zwischen den Formelementen sein, die das optische System noch aufzulösen vermag.

Die num. Ap. ist also auch für das Auflösungsvermögen ausschlaggebend und zwar wird laut Gl. (9) die Auflösung bei einer gegebenen Apertur dann die

<sup>1</sup> Vgl. F. ABBE (*I*), LUMMER u. REICH (*I*), H. BOECHHOFF (*I*) und A. KOHLER (*2*). Ferner die Priorierung dieser Fragen in der neueren Literatur bei M. A. AINSIE (*I*), C. BECK (*I*), M. BIERK (*I*–*5*), H. BOAS (*I*), A. S. BURCHES (*I*), J. W. GORDON (*I*), F. JUNISCH (*2*–*5*), B. K. JOHNSON (*I*), H. MOORE (*I*–*2*), W. A. PORTER (*I*), J. REIFENBERG (*I*), W. FR. SHURLOCK (*I*), H. J. W. SIEDENTOPF (*5*–*8*), F. SPINK (*I*–*2*).

<sup>2</sup> Vgl. A. KOHLER [*9*, S. 341, Gl. (141)].

größte sein, wenn der ganze, vom Objekt übermittelte Lichtstrom in der Öffnung des Mikroskops aufgenommen wird ( $2n \sin u = 2a$ ). Das ist bei der einseitig oder allseitig schiefen Beleuchtung der Fall, weshalb diese Art von Beleuchtung wie sie in der Ultramikroskopie und Dunkelfeldmikroskopie angewandt wird (s. S. 199), den höchsten Grad der optischen Auflösung liefert. Wie aus Gl. (9) aber ebenfalls hervorgeht, läßt sich die optische Auflösung wesentlich steigern, wenn man das Objekt mit kurzwelligen Strahlen beleuchtet, was in der Mikrophotographie um so weitvoller ist, weil die photographische Schicht für solche Strahlen besonders empfindlich ist. So läßt sich mit ultraviolettem Licht das Auflösungsvermögen fast auf das Doppelte dessen steigern, was man bei normaler Beleuchtung mit weißem Licht bei einer Linsenfolge von derselber Apertur erzielen kann (s. S. 293).

Die optische Auflösung, von der das tiefere Eindringen in den strukturellen Aufbau der Untersuchungsgegenstände bedingt ist, hat auch in der Mikrophotographie den entscheidenden Einfluß auf das Vergrößerungsmaß des Lichtbildes. Nach den Feststellungen von ABBE erhält man bei einer subjektiven Beobachtung die erforderliche Vergrößerung des mikroskopischen Bildes, wenn die Gesamtvergrößerung [vgl. Gl. (1)] das 500–1000fache der num. Ap. des Objektivs erreicht. Wird also das Zwischenbild im Mikroskop z. B. von einer Objektivlinse mit der num. Ap. 0,65 geliefert, so kann dieses Bild durch die Okularlinse (angulare Vergrößerung) bis auf 325fach ( $0,65 \times 500$ ) oder 650fach ( $0,65 \times 1000$ ) vergrößert werden. Oberhalb dieser Abbildungsmaße beginnt die leere Vergrößerung, und das stärker vergrößerte Bild erscheint weniger scharf und weniger deutlich.

Das 500fache der num. Ap. bedeutet die untere, das 1000fache die obere Grenze der erforderlichen Vergrößerung. Die obere Grenze kann nur dann erreicht werden, wenn tatsächlich der volle Lichtstrom in der Eintrittspupille aufgenommen ist ( $2n \sin u$ ), oder aber bei einer Beleuchtung mit kurzwelligen, z. B. ultravioletten Strahlen. Sonst empfiehlt es sich, die untere Grenze der erforderlichen Vergrößerung nicht zu überschreiten. Bei der subjektiven Beobachtung macht es allerdings keinen wesentlichen Unterschied, ob man auch bei einer zentralen Beleuchtung mit weißem Licht die untere oder die obere Grenze der erforderlichen Vergrößerung erzeugt. Bei mikrophotographischen Aufnahmen jedoch, wo aus schon erwähnten Gründen die Abweichungen von der idealen Abbildung deutlicher hervortreten und der Vergrößerung gemäß im Bilde stärker ausgeprägt erscheinen, soll bei einer zentralen Beleuchtung mit weißem Licht die untere Grenze der erforderlichen Vergrößerung nie überschritten werden. Die Art, mit welcher die erforderliche Vergrößerung in der Mikrophotographie erzielt wird, wo außer der Okularvergrößerung auch die Vergrößerung durch den Abstand (Kammerlänge) berücksichtigt werden muß, ist auf S. 80 ausführlich beschrieben.

**7. Die Kontrastwirkung.** Wie bei der Wahrnehmung aller Sinnesindrücke sind auch bei der optischen Wahrnehmung die Unterschiede in der Stärke und Qualität, d. h. die Kontraste zwischen den auf das Sinnesorgan wirkenden Reize maßgebend. Die psycho-physiologische Wirkung des betrachteten mikroskopischen Bildes oder seines Lichtbildes wird also letzten Endes davon abhängen, wie weit die optisch aufgelösten und scharf abgebildeten Formelemente sich im Bilde vom strukturlosen Hintergrund abheben und voneinander durch Lichtstärke oder Färbung unterscheiden. Es muß also hier etwas eingehender untersucht werden, wie solche Kontraste, von denen die graphische Wirkung des Lichtbildes unmittelbar hervorgerufen wird, im mikroskopischen Bild entstehen, und durch welche Faktoren sie gestaltet, gesteigert oder gemildert werden können.

Das mikroskopische Objekt besteht aus einem Gefüge von gefärbten oder ungefärbten Formelementen, welches in eine optisch homogene Substanz (Zwischensubstanz) eingebettet und in die Einstellebene des Dingraums, in das sog. Gesichtsfeld, eingeordnet ist. Die Formelemente beeinflussen nun das auftallende oder durchfallende Licht in zweierlei Weise, indem sie das Licht teilweise oder vollständig verschlucken (Lichtabsorption) und ferner durch Brechung oder Beugung die Fortpflanzung der einzelnen Strahlen in verschiedener Weise abändern. Demzufolge ist der vom Objekt in die Eintrittspupille des Abbildungssystems übermittelte Lichtstrom in seiner Zusammensetzung verschieden von jenem, mit welchem das Objekt beleuchtet wurde. Er enthält einerseits Strahlen, welche unbeeinflusst das Gefüge des Objekts durchsetzt haben, andererseits solche, welche in ihrer Fortpflanzung charakteristische Änderungen erfahren haben und in der Periodizität ihrer Wellenbewegung Verzögerungen von halben oder ganzen Wellenlängen aufweisen. Außerdem fehlen natürlich die Lichtstrahlen von sämtlichen oder nur von bestimmten Spektralbereichen, die im Gefüge des Objekts verschluckt wurden.

Die Strahlen des so zusammengesetzten Lichtstroms werden dann vom Abbildungssystem zum Bilde vereinigt, wobei die aus verschiedenen Flächenelementen stammenden heterozentrischen oder inkohärenten Strahlen die optisch homogene Beleuchtung des Gesichtsfeldes liefern (Sehfeldbeleuchtung), während die an den Dingpunkten durch Brechung oder Beugung beeinflussten Strahlen eines und desselben Lichtbündels (aus demselben Flächenelement stammende homozentrische oder kohärente Strahlen) - je nachdem ob sie mit der gleichen oder der entgegengesetzten Wellenphase zusammentreffen - Interferenz-Maxima und -Minima erzeugen, welche die den Formelementen des Objekts koordinierten Bildelemente, die Punkte, Punktreihen und Grenzlinien im Bilde darstellen. Die Helligkeit der Flächen zwischen den Grenzlinien hängt einerseits von der Lichtabsorption in der Substanz des Objektgefüges ab, andererseits von der Stärke der Sehfeldbeleuchtung. Werden im Objektgefüge seiner Färbung entsprechend bestimmte Spektralbereiche des weißen Lichtes verschluckt, so erhält man farbige Flächen zwischen den Grenzlinien. Das mikroskopische Bild solcher gefärbten Objekte besteht also aus zwei Komponenten: aus dem durch Lichtabsorption erzeugten Farbenbild und aus dem Strukturbild (Interferenzbild) oder der Zeichnung, welche die durch Lichtinterferenz erzeugten Grenzlinien enthält (Abb. 5).

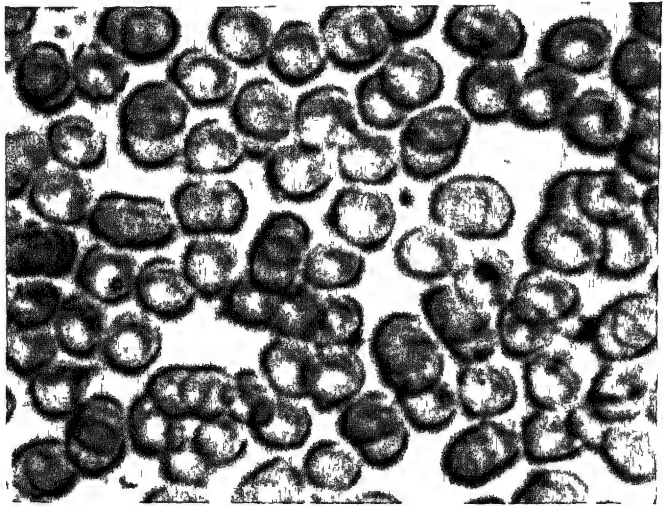


Abb. 5. Strukturbild mit deutlich abgebildeten Grenzlinien. Menschliches Blut. Anstrichpräparat in Luft eingeschlossen. Einstecklinse: Wassertimmertonstirnlinse 70fach in A 125. Homal IV. Kammerfluge: 13 cm. ap. und Kond. -Tischblende bei Feldstr. 5, Kollektorbildende bei Feldstr. 50, Vergr. 920fach. Nachträgliche Bildvergrößerung 1:1. Lichtquelle: Punktlichtlampe 2 W. Belichtungszeit 8 s.

Für die graphische Wirkung des mikroskopischen Bildes ist in erster Reihe das Strukturbild maßgebend, denn die Scharfe, mit welcher die interferierenden kohärenten Strahlen (Abbildungsstrahlen) zu Bildpunkten vereinigt werden, und die Scharfe, mit welcher die so erzeugten Bildelemente vom Hintergrund sich abheben, bestimmt die Klarheit und die Deutlichkeit der Zeichnung. Vor allem ist die klare Zeichnung für die graphische Wirkung des schwarz-weißen Lichtbildes entscheidend, wo die Farbenunterschiede nicht zum Ausdruck gelangen.

Die Abbildungsscharfe des Strukturbildes ist allein von den Faktoren der Abbildung abhängig, welche auf S 14 schon im allgemeinen gekennzeichnet wurden. Der Kontrast jedoch, mit welchem die Grenzlinien sich vom Hintergrund abheben, und wodurch sie graphisch wirksam werden, ist von zwei verschiedenen Faktoren bedingt, nämlich von der Lichtstärke der Abbildungsstrahlen und der Lichtstärke der Sehfeldbeleuchtung. Bekanntlich ist die Lichtstärke der Abbildung durch die num Ap der Objektivlinse bestimmt (s S 18). Die Lichtstärke der Sehfeldbeleuchtung hängt ihrerseits von der Apertur des beleuchtenden Lichtstroms oder Lichtkegels ab, denn offenkundig werden um so mehr Lichtbündel aus verschiedenen Flächenelementen des Strahlers in diesem Lichtstrom enthalten sein, je breiter unter sonst gleichen Umständen die Öffnung ist, durch welche die strahlende Fläche Licht auf das Objekt sendet.

Die Apertur der Beleuchtung wird vom Beleuchtungsapparat geregelt. Bei einer gegebenen Größe der strahlenden Fläche oder der Leuchtfläche erhält man eine geringere oder größere Apertur, je nachdem, ob man die Leuchtfläche einfach mit dem Plan- oder dem Hohlspiegel in die Einstellebene des Mikroskops einspiegelt, oder sie mit einer Linsenfolge, dem Kondensor, in der Nähe des Objekts abbildet. Leichtverständlicherweise wird im letzteren Fall die Apertur der Beleuchtung größer sein als im Falle der einfachen Einspiegelung, da so die ganze Leuchtfläche in dem passenden Abbildungsmaßstab in nächster Nähe des Objekts zu liegen kommt und die von hier aus einfallenden Strahlen die Dingpunkte unter großen Winkeln treffen werden (s Abb 18). Auch beim Gebrauch des Kondensors wird die Apertur der Beleuchtung je nach der Brennweite der Kondensorlinse und der Einstellung des Kondensors zum Objekt verschieden sein. Ebenso ist der Korrektionszustand der Linsenfolge, aus welcher der Kondensor aufgebaut ist, für die Apertur des Kondensors und demzufolge auch für die Apertur der Beleuchtung maßgebend (vgl S 51). Man kann also mit Kondensoren von verschiedenen Brennweiten und verschiedenen Aperturen die Stärke der Beleuchtung regeln, bei einem und demselben Kondensor aber durch Änderungen des Objekt-Kondensor-Abstandes das Bild der Leuchtfläche (die stellvertretende Lichtquelle) bald näher am Objekt, bald weiter davon entwerfen.

Am einfachsten und bequemsten wird jedoch die Apertur der Beleuchtung durch die Irisblende geregelt, welche knapp vor dem Unterteil des Kondensors die Aperturblende der Beleuchtung darstellt (vgl S 53). Bei einer gegebenen Leuchtfläche und einer bestimmten Stellung des Kondensors kann man also durch Schließen oder Öffnen der Irisblende die Menge der beleuchtenden Lichtstrahlen der Lichtstärke der Abbildung fein abgestuft anpassen<sup>1</sup>. Dabei ist

<sup>1</sup> In der Makrophotographie erfolgt dasselbe durch Regelung der relativen Öffnung mit der Irisblende des photographischen Objektivs, welche gleichzeitig und gemeinsam die Apertur der Abbildung und der Beleuchtung regelt. Man erzielt also in der Photographie durch Abblendung oder Ausblendung mit dieser Blende allem die sog. forderliche Beleuchtung, welche in der Mikrophotographie von zwei getrennten Faktoren nämlich von der Apertur der Objektivlinse und der Öffnung der Irisblende abhängig ist. Der Begriff der relativen Öffnung in der Photographie entspricht also dem Begriff der forderlichen Beleuchtung in der Mikrophotographie.

zunächst zu berücksichtigen, daß die Helligkeitsunterschiede zwischen den Maxima und Minima der Interferenzerscheinungen im allgemeinen nicht besonders stark ausgeprägt sind, da die Interferenzstreifen verhältnismäßig nahe aneinanderliegen und von der 2. Ordnung aufwärts sehr lichtschwach sind. Je weniger hell der Hintergrund beleuchtet ist, um so besser werden sie sichtbar, woraus folgt, daß zur Darstellung der Interferenzstreifen eine geringe Menge der Beleuchtungsstrahlen, d. h. eine Beleuchtung mit einem engen Lichtkegel günstiger ist als umgekehrt. Ist jedoch der Beleuchtungskegel zu schmal, d. h. die Öffnung der Irisblende zu eng, so werden im Bilde auch die Interferenzstreifen höherer Ordnungen sichtbar, und man erhält statt einer Grenzlinie ein ganzes Liniensystem um die Bildelemente herum, was dem Bild ein unruhiges Gepräge verleiht und seine Deutung wesentlich erschwert (Abb. 6). Ebenso

ungünstig ist es wiederum, wenn die Sehfeldbeleuchtung allzu lichtstark ist und die Kontraste zwischen den Interferenz-Maxima und -Minima überstrahlt, denn hier erscheint dann trotz einer sonst einwandfreien Abbildung die Zeichnung schwach ausgeprägt, und man erhält den Eindruck eines verschwommenen, flauen Bildes. Solche Bilder erhält man meistens, wenn die Apertur der Beleuchtung im Verhältnis zur Apertur der Abbildung viel zu groß ist und die Wirkung der beleuchtenden inkohärenten Strahlen der am Objektgefüge gebrochenen und gebeugten kohärenten Strahlen (Abbildungsstrahlen) verdeckt.

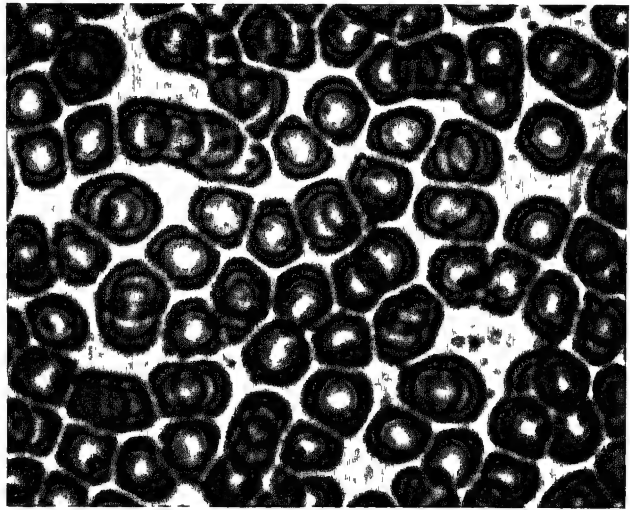


Abb. 6. Strukturbild mit störenden Beugungsinterferenzen.  
Präparat: optische Ausrüstung und Vergrößerungsmuß wie bei Abb. 5. Irisblende bei Teilstr. 1. Kollektorblende bei Teilstr. 40. Belichtungszeit bei derselben Lichtquelle wie bei Abb. 5 = 15.

Am schönsten und am reinsten kommt das am Objektgefüge gebrochen oder gebeugte Licht im Bilde zur Erscheinung, wenn man die Strahlen der Sehfeldbeleuchtung aus der Bilderzeugung vollkommen ausschaltet, indem man durch eine extreme einseitig schiefe Beleuchtung (Spaltultramikroskop) oder durch besondere in ihrem Mittelteil abgeschnittene Dunkelheldkondensoren das unmittelbare Eindringen der Beleuchtungsstrahlen in die Öffnung des Mikroskops verhindert (Abb. 104). Bei einer solchen Beleuchtungsrückrichtung, wie man sie in der Ultramikroskopie und Dunkelheldmikroskopie benutzt, kann nur das an der Objektstruktur gebeugte oder gespiegelte Licht in die Öffnung des Mikroskops gelangen, und man erhält im Bilde leuchtende Bildelemente auf einem dunklen Hintergrund. Die Kontrastwirkung eines solchen Dunkelheldbildes, wo die Lichtwirkung von den Bildelementen selbst und allem von diesen ausgeht, wird (Bilderzeugung durch die Maxima, positives Bild), ist aus bekannten physiologischen Gründen bedeutend größer als die des Hellheldbildes, bei welchem die Bildelemente der Zeichnung nur danach wahrgenommen

werden, wieweit ihre Grenzlinien dunkler sind als der Hintergrund (Bildezeugung durch die Minima, negatives Bild)<sup>1</sup> (vgl. Abb. 215)

Sowohl im Hellfeld- wie im Dunkelfeldbild ist die Kontrastwirkung zwischen den Bildelementen und dem hellen oder dunklen Hintergrund vom Verhältnis der Apertur der Beleuchtung zur Apertur der Abbildung abhängig. Bei der Erzeugung eines deutlichen Dunkelfeldbildes muß die Apertur der Beleuchtung wesentlich größer sein als die der Abbildung, beim Hellfeldbild erhält man aber

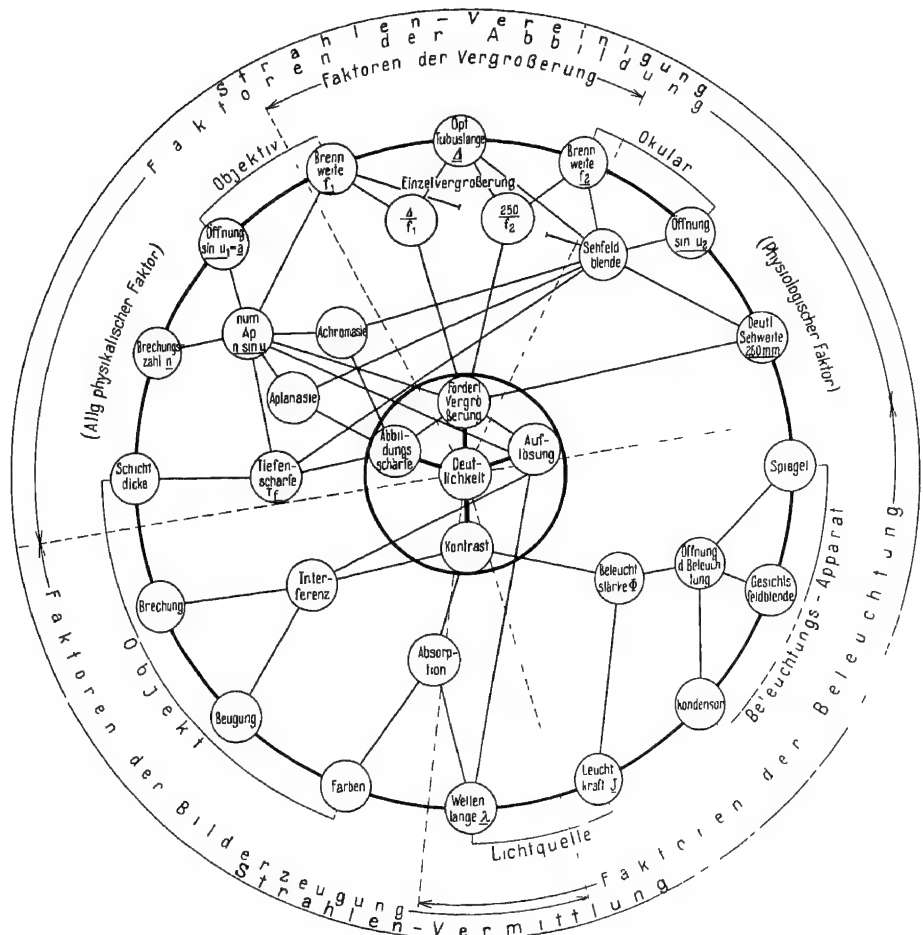


Abb. 7. Faktorendiagramm des mikroskopischen Bildes.  
Mit „Schuldblenne“ ist kurz die Blende bezeichnet, wo das Zwischenbild liegt ( $\sigma_1$  und  $\lambda$  in Abb. 1).

gerade umgekehrt das deutlichste Bild dann, wenn die Apertur der Abbildung größer ist als die der Beleuchtung. Soll das mikroskopische Bild  $Z/B$  mit einer Objektlinse von der num. Ap. 0,85 im Dunkelfeld eingestellt werden, so erhält man die günstige Kontrastwirkung mit Dunkelfeldkondensoren von der Apertur 1,05—1,2, wo der ganze zentrale Teil des Beleuchtungskegels, dessen Öffnung der Objektivapertur von 0,85 entspricht, abgeschliffen ist und nur die Strahlen

<sup>1</sup> Vgl. H. SIEDENTOPF (6)

aus höheren Aperturbereichen infolge der Brechung und Beugung am Objektgefuße in die Öffnung des Mikroskops gelangen können (Abb 104c und d). Wünscht man aber ein Hellfeldbild mit demselben Objektiv, so wird man zwar auch hier einen Hellfeldkondensor von hoher Apertur, z. B. den aplanatischen Kondensor Ap 1,4 vorteilhaft verwenden, die Öffnung des Beleuchtungskegels jedoch mit der Irisblende so weit einengen, daß die Apertur der Beleuchtung schließlich ungefähr dem Wert von 0,85 entspricht oder einen noch geringeren Wert darstellt (Abb 104a).

So wie es beim Abbildungsmaß eine forderliche Vergrößerung gibt, so gibt es auch eine forderliche Beleuchtung, bei welcher die Helligkeitsunterschiede im Bilde am wirkungsvollsten in Erscheinung treten. Für das Strukturbild ist diese forderliche Beleuchtung erzielt, wenn die Aperturen der Abbildung und der Beleuchtung in der geschilderten Weise einander angepaßt sind. Für das Farbenbild muß man außerdem noch die Zusammensetzung des beleuchtenden Lichtstroms aus den verschiedenen Spektralbereichen beachten und diese mit geeigneten Lichtquellen und Lichtfiltern so gestalten, daß der Effekt der Lichtabsorption im mikroskopischen Bilde durch die Farben- oder die denen entsprechenden Helligkeitskontraste am deutlichsten in Erscheinung tritt.

In der Dunkelfeldmikroskopie ist das Verhältnis der Aperturen im voraus schon genau feststellbar, da ein Dunkelfeldbild überhaupt nur dann erzielbar ist, wenn die Apertur des Dunkelfeldkondensors größer ist als die der Objektivlinse. In der Hellfeldmikroskopie sind jedoch die Bedingungen der forderlichen Beleuchtung nie so genau im voraus feststellbar, denn die Entstehung des Hellfeldbildes ist von der Apertur der Beleuchtung in ziemlich weiten Grenzen unabhängig, und nur die Wirkung der Kontraste kann durch die Beleuchtung mehr oder weniger günstig gestaltet werden. Das letztere muß aber während der Einstellung des Bildes von Fall zu Fall empirisch durch Hebung oder Senkung des Kondensors, sowie durch Öffnen oder Schließen der Irisblende erfolgen. Ein wesentlicher Faktor, die Lichtstärke des Interferenzbildes, hängt nämlich von der physikalischen Beschaffenheit des Objekts in dem gleichen Maße ab wie von den Aperturen der Abbildung und der Beleuchtung. Je kleiner die Formelemente oder die Zwischenräume des Objektgefüges im Vergleich zur Wellenlänge der beleuchtenden Strahlen sind, und je größer der Brechungsunterschied ist zwischen der Substanz des Objektgefüges und der Zwischensubstanz in welcher sie eingebettet ist, um so stärker wird der Helligkeitsunterschied zwischen den Maxima und Minima des am Gefüge gebeugten Lichtes sein bei einer bestimmten und gleichbleibenden Beleuchtung. Diese für das Strukturbild maßgebenden Eigenschaften des Objekts sind naturgemäß sehr verschieden in den verschiedenen Objekten der mikroskopischen Forschung. Sie lassen sich auch bei einem und demselben Objekt durch besondere Vorbehandlung und Vorbereitung für den Zweck der Untersuchung günstiger gestalten wie das in den Lehr- und Handbüchern der Mikrotechnik eingehend geschildert wird<sup>1</sup>. Während der mikrotechnischen Behandlung erhalten die Objekte<sup>2</sup> ihre für die

<sup>1</sup> Vgl. P. MAYER (1), B. ROHMIS (2), Enzyklopädie der mikroskopischen Technik (1), Methodik der wissenschaftlichen Biologie I (1) und Handbook of microscopical technique (1).

<sup>2</sup> Hier, wie in den weiteren Ausführungen, werden in erster Reihe die biologischen Objekte der mikroskopischen Forschung berücksichtigt. Derzeit sind die Mikroskopie und die Mikrophotographie in den nichtbiologischen Naturwissenschaften ebenfalls stark verbreitet als Forschungs- und Abbildungsmethoden. Die geschichtliche Entwicklung ist jedoch gemeinsam mit der biologischen Forschung erfolgt und so wurde die Methodik in ihren Hauptzügen den biologischen vor allem den zytologischen und histologischen Objekten angepaßt. Die so gewonnenen Prä-



Beleuchtung im durchfallenden Licht geeignete Schichtdicke (Einbetten, Schneiden), ihre elektiven Färbungen und schließlich bei der Durchtränkung mit Einschlußmitteln von hoher Lichtbrechung (Kanadabalsam, Dammarlack, Zedernol, Lavulose, Glycerin) ihre Durchsichtigkeit. Es besteht daher ein wesentlicher Unterschied zwischen den Kontrasten, die man von einem unbeeinflussten, d. h. in seinem natürlichen Zustand eingestellten Objekt (frischen oder nativen Präparat) oder von einem mikrotechnisch in günstigster Weise vorbereiteten, fixierten, gefärbten und in Kanadabalsam eingeschlossenen sog. Dauerpräparat erhalten kann (vgl. S. 111 und 388). Die erforderliche Beleuchtung und damit auch die ganze Optik der mikrophotographischen Einrichtung muß deshalb stets dem Objekt angepaßt sein, wobei naturgemäß die Objekte, die ein kontrastarmes Bild liefern, wie z. B. die meisten lebensfrischen Zellen und Gewebe, bedeutend größere Schwierigkeiten bereiten werden als die mikrophotographische Abbildung der gefärbten Dauerpräparate mit ihren günstigen photographischen Kontrasten.

### III. Die allgemeinen Bedingungen der mikrophotographischen Aufnahme.

Man kann die Bedingungen, unter denen eine mikrophotographische Aufnahme regelrecht erfolgt, in allgemeine und spezielle einteilen. Die allgemeinen Bedingungen sind für jede Art von Mikrophotographie gültig, die speziellen je nach der besonderen Art des Objekts und des mikroskopischen Bildes. Besonderen Regeln werden wir also begegnen bei der mikrophotographischen Abbildung im Dunkelfeld, im polarisierten Licht oder im auffallenden Licht; ebenso werden wir spezielle Verfahren kennenlernen für Übersichtsbilder bei schwachen Vergrößerungen und andere für Abbildungen bei starker Auflösung der abzubildenden Struktur. Schließlich werden wir noch die Unterschiede hervorheben, welche zu beachten sind, wenn man Lichtbilder von ungefärbten lebenden oder gefärbten fixierten Objekten erhalten will. Bei sämtlichen Arten der mikrophotographischen Aufnahmen gibt es jedoch Regeln, welche für alle gemeinsam sind. Sie betreffen 1. die Beleuchtung des Objekts, 2. die Zusammenstellung der Einrichtung und schließlich 3. die erforderliche Vergrößerung des photographischen Bildes.

Die Aufstellung der mikrophotographischen Einrichtung muß vollkommen erschütterungsfrei sein, und die Verbindung zwischen Aufnahmekamera und Mikroskop soll derart beschaffen sein, daß während der Aufnahme keine Erschütterungen auf das Mikroskop übertragen werden<sup>1</sup>. Die Verbindung wird in zweckmäßiger Form mit einer Lichtschutzmanschette hergestellt (Abb. 8), welche das Eintreten von Nebenlicht in die Kamera verhindert. Schließlich verlangt man von einem mikrophotographischen Apparat, daß man bequem zum Mikroskop und zum Präparat gelangen kann, und daß die Einstellung des Präparats mit dem Mikroskop wie auch die Scharfstellung des mikroskopischen Bildes auf der Mattscheibe in bequemer und einfacher Weise erfolge.

Abbildungen im optischen und mechanischen Aufbau konnten ohne wesentliche Änderungen auch für die Zwecke der Kristallographie, Metallurgie, Fasertechnik und physikalischen Chemie nutzbar gemacht werden. Im allgemeinen gelten daher die für die biologischen Objekte abgeleiteten Regeln auch für jedes andere Objekt der Mikrophotographie. Spezielle Fälle, wo die besondere Art der Objekte besondere Einrichtungen erfordert, werden in eigenen Abschnitten zu behandeln sein (S. 8, 249).

<sup>1</sup> Eine gut bewährte Anordnung zur erschütterungsfreien Aufstellung des mikrophotographischen Apparates ist neuerdings von HOCSTÄTER (7) angegeben worden.

Was die Bedingungen der Beleuchtung betrifft, erfordert die mikrophotographische Aufnahme im allgemeinen ein intensiveres Licht als die subjektive Beobachtung, und zwar hauptsächlich deshalb, weil man verhältnismäßig kurze Belichtungszeiten braucht. Je länger die Belichtung dauert, um so leichter können störende Einflüsse, wie Erschütterung der Einrichtung, Änderungen in der scharfen Einstellung, Verschiebungen des Präparats oder Schädigungen des Objekts durch das konzentrierte Licht, die Aufnahme gefahrlos selbst bei einem gut sensibilisierten empfindlichen Plattenmaterial genügt die Helligkeit des subjektiv beobachteten mikroskopischen Bildes nur zu längeren Belichtungszeiten, und zwar sind diese um so länger, je stärker die Vergrößerung ist. Dabei kommt noch ein für die Belichtung entscheidender Umstand in Betracht, nämlich das Verhältnis der Flächenhelligkeit des Mattscheibenbildes zum Quadrat der Entfernung. Da bei jeder mikrophotographischen Aufnahme das greifbare Bild in einer zur Austrittspupille des Mikroskops bedeutenden Entfernung aufgefangen wird, ist die Flächenhelligkeit in der Mattscheibenebene stets geringer als die des subjektiv beobachteten mikroskopischen Bildes bei derselben Beleuchtung. Man soll deshalb bei mikrophotographischen Aufnahmen die Intensität der Beleuchtung so weit steigern, daß das Mattscheibenbild so hell erscheint, wie bei subjektiver Beobachtung ein gut ausgeleuchtetes Sehfeld. Je stärker die Mikroskopvergrößerung und je länger der Kameraauszug ist, desto mehr Licht wird erforderlich sein, um dieses Ziel zu erreichen. Man muß daher die mikrophotographischen Einrichtungen mit Lichtquellen von großer Helligkeit ausrüsten und alles Licht in die Eintrittspupille des Mikroskops konzentrieren.

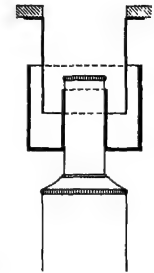


Abb. 8  
Schematischer  
Durchschnitt von  
dem Lichtdichten  
Abschluß zwischen  
Mikroskop und  
Kamera (Licht-  
schutzmanschette)  
(Aus H. MU SKEEL  
[1 S. 34])

Die Erzielung der erforderlichen Vergrößerung erfolgt in der Mikrophotographie außer dem aus der mikroskopischen Optik bekannten Verfahren auch durch einen größeren oder kleineren Kameraauszug, falls der mikrophotographische Apparat eine Balgkamera besitzt. Die Bildvergrößerung mit dem Kameraauszug hat verschiedene und wesentliche Vorteile (s. S. 80), weshalb es ratsam erscheint, die mikrophotographischen Apparate mit Balgkameras auszurüsten.

Nach einer langen historischen Entwicklung sind derzeit die Grundlagen des Apparatebaues in allen Werkstätten für mikrophotographische Einrichtungen dieselben, und alle mikrophotographischen Einrichtungen werden aus drei Hauptbestandteilen: dem Mikroskop, der photographischen Kamera und der Beleuchtungsvorrichtung auf einer gemeinsamen optischen Bank oder auf zwei getrennten optischen Gestellen bzw. ohne solche Gestelle aufgebaut. Es sind hauptsächlich 3 Grundformen allgemein verbreitet: diese sind: 1. die kleinen Vertikalkammern, 2. die großen mikrophotographischen Apparate und 3. die Aufsatzkammern.

So verschieden auch die Form und der Aufbau der einzelnen Apparate sein mögen, bleibt ihre optische Ausrüstung, welche die Abbildung liefert und für die Abbildungsschärfe und die optische Auflösung des Bildes allein maßgebend ist, stets die gleiche: nämlich die Objektiv- und die Okularlinsen des zur Aufnahme benutzten Mikroskops. Auch der Beleuchtungsapparat des Mikroskops bildet naturgemäß einen wesentlichen Teil der Beleuchtungsvorrichtung des mikrophotographischen Apparats, wenn auch bei der mikrophotographischen Aufnahme diese öfters mit besonderen Linsen, Spiegeln und Blenden ergänzt werden muß. Bevor also die einzelnen Formen der mikrophotographischen Apparate geschildert werden, wollen wir die verschiedenen Arten der Objektiv- und Okularlinsen ferner die Bestandteile des Beleuchtungsapparates des Mikroskops beschreiben.

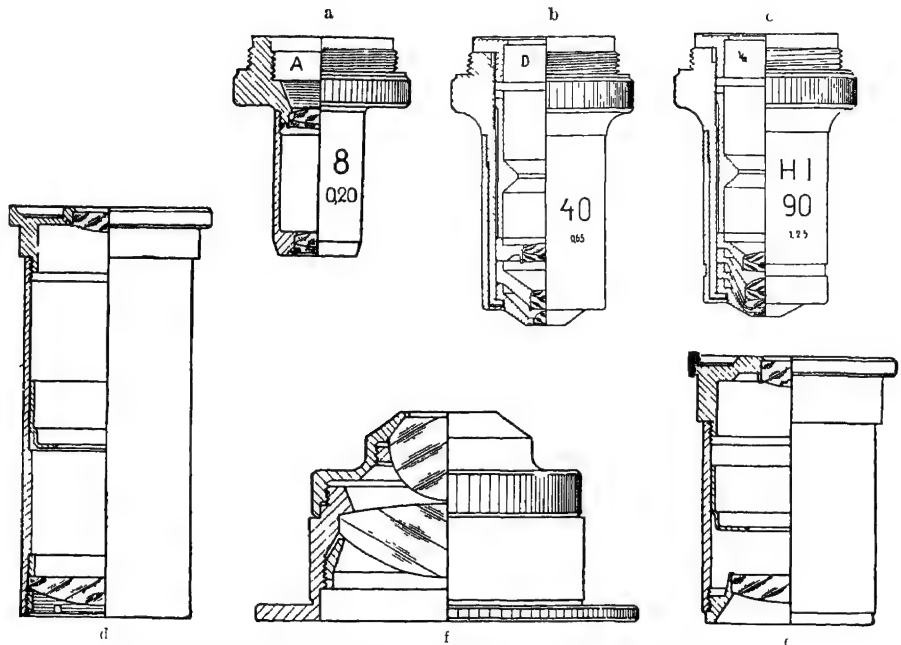


Abb 9 Schematischer Durchschnitt von Objektiven, Okularen und Kondensoren  
(Aus ZEISS-Druckschrift Mikio 400)

#### IV. Die Objektivlinsen.

**8 Einteilung** Man unterscheidet nach dem Vergrößerungsvermögen schwache, mittelstarke und starke Objektive. Die schwachen Mikroskopobjektive besitzen ein Vergrößerungsvermögen von 1—10facher Vergrößerung (Eigen- oder Einzelvergrößerung), die mittelstarken eine solche von 10—40fach und die starken von 40 bis etwa 100fach. In der Mikrophotographie kommen außerdem Objektive vor, welche eigens zu Aufnahmen bei ganz schwachen Vergrößerungen gebaut werden (s S 184 und 191) und ein geringeres Vergrößerungsvermögen besitzen als die schwachen Mikroskopobjektive im allgemeinen.

Nach dem Grad ihres aplanatischen Abbildungsvermögens unterscheidet man achromatische, anastigmatische und apochromatische Objektive. Die Achromate sind bis auf das sekundäre Spektrum, die Apochromate aber auch auf das sekundäre Spektrum (bis auf das tertiäre Spektrum) korrigiert. Bei ihnen hatte schon ABBE außerdem für zwei genügend entfernte Stellen des Spektrums die chromatische Differenz der sphärischen Aberration gehoben. Eine besondere Art stellen die Fluoritsysteme (Halbapochromate) dar, welche aus achromatischen Gliedern und Fluoritlinsen zusammengestellt sind. Sie sind dadurch auch auf das sekundäre Spektrum korrigiert, jedoch nicht so vollkommen wie die aus den Jenaer Borat- und Phosphatgläsern hergestellten Apochromate. Die Anastigmate stellen schwache Objektive dar mit einem sehr hohen, etwa dem der Fluoritsysteme entsprechenden Grad von Korrektur. Bei allen diesen Objektivsystemen werden die Linsen ausschließlich oder in der Hauptsache aus optischen Glassorten (Kronglas, Flintglas, Jenaer optisches Glas) geschliffen (s Tabelle 2). Für die Abbildung mit ultravioletten Strahlen benötigt man solche aus optischem Quarz (s S 298). Diese bilden die Gruppe der sphärisch fast vollkommen korrigierten Quarzmonochromate.

Tabelle 2 Brechungs-exponenten optischer Gläser (Aus Chemiker-Kalender 1930 Bd 3, S 239)

Nr	Glas der Glaswerks SCHOTT in Jena	Vol - Gew	A <sub>1</sub> λ 768 1	C λ 656 3	D λ 589 3	F λ 486 1	G <sub>1</sub> λ 431 0
03258	Kronglas schwachst n <sub>D</sub>	2,23	1,47335	1,47601	1,47820	1,47927	1,48727
02388	Kronglas Objektive	2,85	1,51991	1,52290	1,52540	1,53142	1,53626
0203	Gewohnl Silikatkronglas	2,54	1,51187	1,51489	1,51750	1,52366	1,52865
0608	Kronglas starke Dispers	2,60	1,50895	1,51213	1,51490	1,52156	1,52699
02001	Flint für Brillen	2,50	1,51471	1,51813	1,52110	1,52820	1,53397
0276	Gewohnl leicht Flint	3,22	1,57154	1,57604	1,58000	1,58977	1,59804
0118	Gewohnl Silik Flint	3,58	1,60284	1,60814	1,61290	1,62474	1,63482
0198	Schweres Silik Flint	4,99	1,76101	1,76999	1,77820	1,79940	1,81808
0228	Schwerst Silik Flint	5,92	1,88046	1,89289	1,90440	1,93463	1,96189

Ferner unterscheidet man die Trockensysteme und die Immersionssysteme, je nachdem ob das Medium im Zwischenraum Luft oder eine Flüssigkeit von höherer Brechungszahl ist

Daß die Immersion einen entscheidenden Einfluß auf die num Ap der Objektivlinse und demzufolge auf sämtliche Eigenschaften der Abbildung ausübt, ist aus der mikroskopischen Optik bekannt (s Abb 13). Es gibt sowohl schwache wie starke, achromatische wie apochromatische Trockensysteme. Eine besondere Form der starken Trockenapochromate stellen die Objektive mit Korrekturenstellung dar (s S 33). Die Immersionssysteme sind — soweit sie für die Mikrophotographie in Betracht kommen — ausschließlich Apochromate oder Halbapochromate (Fluoritsysteme). Im allgemeinen benutzt man die Immersionssysteme zu starken Vergrößerungen, bei ihrer Verwendung spielt jedoch weniger ihr Vergrößerungsvermögen als ihre von der Immersion bedingte höhere num Ap die entscheidende Rolle. Es gibt auch unter den Trockensystemen solche, die ein gleich großes oder noch größeres Vergrößerungsvermögen aufweisen als die Immersionslinsen. Auch gibt es Immersionslinsen für schwache Vergrößerungen.

**9. Die Art der Zusammenstellung.** Je nach der erstrebten Leistungsfähigkeit wird beim Aufbau des Objektivs die Art und die Zahl der Glieder bestimmt. Schwächere Objektive enthalten eine geringere, stärkere eine größere Anzahl von Gliedern (s Abb 9a, b, c). Die Form, der Krümmungsgrad, die Brechungszahl und die Dispersitätskonstante der Linsen, ferner die Zahl der Flächen, aus denen die einzelnen Glieder hergestellt werden, entscheiden über das aplanatische Abbildungsvermögen und die num Ap des Objektivs. Die Linsen werden mit optischem Kanadabalsam, dessen Brechungszahl bis auf die zweite Größenordnung der der Glassorten entspricht, zu einzelnen Gliedern zusammengeklebt, was bei der Reinigung der Objektive genau berücksichtigt werden soll (s S 31). Es genügt im allgemeinen, wenn nur das hinterste Glied oder die hinteren Glieder solche Korrektionsglieder sind. Je höher die Ansprüche an eine aplanatische Abbildung sind, um so mehr Korrektionsglieder mit spezieller Leistungsfähigkeit werden eingesetzt. Dementsprechend weisen die Trockensysteme mit Korrektionsfassung und die Immersionssysteme die größte Anzahl und auch die größte Mannigfaltigkeit in der Zusammenstellung ihrer Glieder auf. Das Vergrößerungsvermögen hängt in der Hauptsache von der Stärke der Frontlinse ab, welche aus diesem Grunde meistens aus einer einzigen Linse gebildet wird. Die Leistungen eines Objektivs werden also auf die Linsenfolge so verteilt, daß die Vergrößerung in der Hauptsache eine Leistung der Frontlinse oder der vordersten Glieder, die aplanatische Abbildung aber in der Hauptsache eine Leistung der hinteren Glieder ist.

018

776  
21

Mit den Gliedern zusammen werden auch die Blenden in die Linsenfolge eingesetzt, welche den Strahlengang begrenzen und die Pupillen des Abbildungssystems erzeugen. Je nach ihrer Lage im Verhältnis zur Frontlinse findet man Objektive mit einer Vorderlinse und solche mit Hinter- oder Zwischenblenden (Innenlinse). Zumeist steht die körperliche Blende hinter dem letzten Glied der Linsenfolge, in manchen Fällen ist es jedoch vorteilhaft, auch zwischen den Gliedern eine Blende zur Regelung der Apertur einzusetzen. Sehr bewährt hat sich dafür eine Innenlinse mit veränderlicher Öffnung (Irislinse).

**10 Die Objektivilassung.** Glieder und Blenden werden in der streng ausgerichteten Folge auf einer gemeinsamen optischen Achse und in den vorgeschriebenen Abständen durch die Fassung zusammengehalten. Die verschiedenen Arten der Linsenfassung, denen man bei Objektiven verschiedener Herkunft begegnet, lassen sich alle auf zwei Hauptformen zurückführen, die sind die Gewindefassung und die Zylinderfassung oder Fullfassung. Die geschichtlich ältere und auch heute noch sehr verbreitete Form der Gewindefassung besteht aus kürzeren oder längeren Messingrohren, in denen die einzelnen Glieder eingefaßt sind, und die dann miteinander fest zusammengeschraubt werden. Die Länge der Rohre bestimmt die Abstände zwischen den einzelnen Gliedern (vgl. die Objektivilinsen bei der Abb. 2). Bei der Zylinderfassung werden die Glieder in genau zylindrisch abgedrehten Fassungsstücken untergebracht und dann gemeinsam in ein Metallrohr, das den Fassungsstücken entsprechend innen genau zylindrisch ausgedreht ist, eingefaßt (vgl. die Objektivilinsen bei der Abb. 3). Über die Korrektionsfassung s. S. 33.

Die Fassungen werden allgemein aus blankpoliertem Messing hergestellt, außen vernickelt und lackiert. Bei Immersionslinsen pflegt man die Frontlinse in Neusilber einzufassen. Zur Fassung von Wasserimmersionslinsen eignet sich am besten rostfreier Stahl (s. S. 38).

**11. Die Kennzeichen.** An der Fassung jedes Objektivs befinden sich die Kennzeichen in Form von Zahlen oder Buchstaben, welche in einfachster Weise über die Leistungsfähigkeit des Objektivs Aufschluß geben. In früheren Zeiten hat man dafür mehr oder weniger willkürlich (und bei verschiedenen optischen Werken nach verschiedenen Schlüsseln) kleine oder große Buchstaben, römische oder arabische Zahlen gewählt, die der Reihenfolge entsprechend die Stärke des Objektivs angezeigt haben ( $A < B$ ,  $I < II$  usw.). Einwandfrei und eindeutiger ist es die Stärke des Linsensystems einheitlich in Zahlenwerten, und zwar entweder mit der Brennweite oder mit dem Vergrößerungsvermögen (Eigenvergrößerung oder Einzelvergrößerung<sup>1</sup>) auf der Fassung anzugeben. Das richtigste ist jedoch, sowohl das Vergrößerungsvermögen (z. B. Vergrößerung  $20\times$ ) wie auch die Brennweite anzugeben, denn aus dem Wert der letzteren kann dann auch auf den Arbeitsabstand<sup>2</sup> des Objektivs geschlossen werden, was bei Objektiven von gleichem Vergrößerungsvermögen ganz verschieden sein kann (vgl. Tabellen 3—6). Schließlich wird bei Objektiven aus größeren optischen Werkstätten die Zahl der num. Ap. nicht fehlen. Aus dieser Zahl allein läßt sich schon die Leistungsfähigkeit des Objektivs, nämlich das Auflösungsvermögen (s. S. 19), die Lichtstärke der Abbildung (s. S. 16) und die Tiefenschärfe (s. S. 17) eindeutig ermitteln, wenn man berücksichtigt, daß das Auflösungsvermögen mit der num. Ap. und die Lichtstärke mit dem Quadrat der num. Ap. in geradem Verhältnis steht. Auch die vom Auflösungsvermögen

<sup>1</sup> Vgl. A. KOHLER (9, S. 246—251).

<sup>2</sup> Er wird auch freier Objekt Abstand genannt und entspricht dem Raum zwischen der Frontlinse des Objektivs und der Oberfläche des Objekts. Er ist meist um einige Millimeter kleiner als die Brennweite.

abhängige forderliche Vergrößerung (s. S. 20) läßt sich am einfachsten aus der Zahl der num. Apertur ermitteln ( $500 \times$  oder  $1000 \times a$ )

**12. Die Trockensysteme** Die schwächeren (s. Tabelle 3) werden als sog. Satzobjektive aus zwei oder drei achromatischen Gliedern so zusammengestellt, daß jedes Glied allein ein achromatisches Bild zu liefern vermag (Abb. 9a). Die Frontlinse kann also hier abgeschraubt werden (z. B. bei Obj. ZEISS  $8 \times$ ), und dementsprechend erhält man von dem hinteren Glied (oder den hinteren Gliedern) eine geringere Vergrößerung. Die schwächsten Vertreter dieser Reihe haben insofern einen von jedem anderen Objektiv abweichenden Bau, als die achromatische Linse in der Fassung verstellbar ist (Abb. 10). Durch Verstellung der Linse wird dem geänderten Brennpunkt-Objekt-Abstand gemäß auch das Abbildungsmaß geändert.

Die mittelstarken und starken Trockenlinsen (s. Tabelle 3 u. 4) sind nach einem anderen Grundsatz aufgebaut (Abb. 9b). Hier sind die Glieder zu zwei Gruppen vereinigt, von denen die untere mit der Frontlinse den Unterteil und die andere den Oberteil der Linsenfolge bildet. Bei den starken Objektiven dieser Reihe stehen den geringeren Brennweiten entsprechend Unterteil und Oberteil mehr zusammengedrängt, weshalb hier die hinterste Linse tief in der Fassung liegt und nur mit feinen weichen Pinseln gereinigt werden kann<sup>1</sup>.

Der Oberteil ist sphärisch oft etwas überkorrigiert, der Unterteil dementsprechend unterkorrigiert. In einem bestimmten (durch Rechnung festgestellten) Abstand wird die Überkorrektur des Oberteils durch die Unterkorrektur des Unterteils ausgeglichen. Man erhält dadurch auch bei Trockenachromaten eine für viele Zwecke ausreichend vollkommen Abbildung. Allerdings bleibt das sekundäre Spektrum bestehen, und die Abbildungsschärfe reicht nicht aus, um z. B. aus mikrophotographischen Aufnahmen, welche mit Trockenachromaten erzielt wurden, vergrößerte Abzüge herzustellen. Zu solchen Zwecken, wie allgemein zu einwandfreier scharfer Abbildung und weitgehender

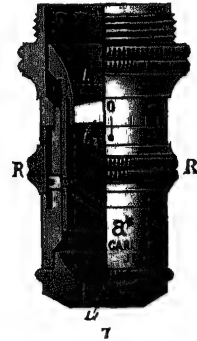


Abb. 10. Schwaches Objektiv (ZEISS Obj.  $8 \times$ ) mit veränderlicher Vergrößerung.

$L_1$  = Unterteil,  
 $L_2$  = Oberteil,  
 $R$  = Anschraubung  
 (Aus A. KÖHLER [9  
 S. 270]).

<sup>1</sup> Die Reinigung der Linsen erfolgt am besten mit einem weichen Tuch aus gutem Leinen, Seidentuch oder Waschlleder, wie vielfach üblich, eignen sich nur für optische Werkstätten, nicht aber für Laboratoriumszwecke. Im Laboratoriumsbetrieb kommen die Frontlinsen häufig mit den Objekten oder mit dem Präparat in Berührung und werden dadurch verunreinigt. Die Reinigung erfolgt dann mit einem Mittel, das die verunreinigende Substanz löst. Am häufigsten wird das Einschlüßmittel des Präparats (Kanadabalsam, Lavulose usw., s. S. 25) von der Frontlinse zu entfernen sein. Zur Entfernung von Kanadabalsam eignet sich am besten Chloroform, weniger das allgemein verbreitete Xylol. Wasserlösliche Spuren von fremden Substanzen oder solche von Einschlüßmitteln müssen mit Wasser von der Frontlinse entfernt werden. Kieselstaub mit Xylol oder Chloroform mit denen solche Verunreinigungen fest an die Frontlinse haltende Niederschläge bilden. Auch dann, wenn die Frontlinse durch das Objekt nicht verunreinigt wird, muß sie von Zeit zu Zeit von den aus der Luft sich ansammelnden Staubteilchen gereinigt werden. Zu diesem Zweck verwendet man zweckmäßig Äther-Alkohol (das trockene Äther-Alkohol-Gemisch gewöhnlich nicht). Die Reinheit der vorderen Linsensfläche prüft man am besten mit einer schwachen Lupe oder durch ein schwaches Okular, das man in umgekehrter Richtung (mit der Augenlinse nach vorne) gegen die Frontlinse hält.

Steht das Mikroskop oder das Objektiv ungeschützt in der Luft, so sammeln sich Staubteilchen auch im Innern des Objektivs auf der hintersten Linsensfläche. Zur Reinigung benutzt man hier, wie schon erwähnt, einen weichen mit Äther oder Äther-Alkohol (keineswegs mit Xylol!) befeuchteten Pinsel. Das Zweckmäßigste ist allerdings, das Mikroskop, sofern es nicht in seinem Kasten aufbewahrt wird, mit einem Glassturz oder einem Tuch vor Staub zu schützen.

Tabelle 3  
Die schwachen und mittelstarken Trockenachiomate (ZEISS, Jena<sup>1)</sup>)

Bezeichnung		Brennweite mm	Freier Objekt- abstand mm	Alte Be- zeich- nung	Bemerkungen
Einzel- vergrö- ßerung	Nume- rische Apertur				
1—1,5		55	64/47	a <sub>0</sub>	Die Linse ist in der Fassung verstellbar. Dadurch ändert sich die Einzelvergrößerung stetig zwischen den angegebenen Werten. Am Revolver sind diese Objektive nur mit der stärksten Vergrößerung zu benutzen.
1,5—2		45	32/25	a <sub>1</sub>	
1,2-2,4			33/7	a <sup>1</sup>	Oberes Glied ähnlich wie bei einer Korrektionsfassung verstellbar. Dadurch verändert sich die Einzelvergrößerung im Verhältnis 1 : 2.
2		50	60		Am Revolver nicht abzugleichen.
3		36	29	a <sub>2</sub>	
5		25	19	a <sub>3</sub>	
6	0,17	23,5	11	aa	
8	0,20	18	9	A	Am Revolver mit den stärkeren Trockensystemen abgeglichen.
10	0,30	15,6	7,5	AA	
20	0,40	8,3	1,6	C	

Tabelle 4 Die starken Trockenachiomate und Fluoritsysteme (ZEISS, Jena)

	Bezeichnung		Brennweite mm	Freier Objekt- abstand mm	Alte Be- zeich- nung	Bemerkungen
	Einzel- vergrö- ßerung	Nume- rische Apertur				
Trocken- systeme	40	0,65	4,4	0,55	D	Stärkstes Trockensystem, das gegen Schwankungen der Deckglasdicke innerhalb der üblichen Grenzen wenig empfindlich ist.
	40	0,85	4,4	0,32	DD	Fluoritsysteme, auch gegen geringe Schwankungen der Deckglasdicke (± 0,01 mm) empfindlich. Daher ist auf richtige Deckglasdicke (0,17 mm) zu achten.
	60	0,90	2,9	0,12	E	
	40 mit Kon.	0,85	4,4	0,32	DD	Vorzu ziehen: Objektive mit Korrektionsfassung, womit das Objektiv für die Dicke des vorliegenden Deckglases eingestellt werden kann.
	60 mit Kon.	0,90	2,9	0,12	E	
	90 mit Kon.	0,90	2,0	0,09	F	

<sup>1</sup> Die Antuhung solcher und ähnlicher Zusammenstellungen aus Druckschriften der großen optischen Werke soll keineswegs als Werturteil für bestimmte Erzeugnisse bestimmter Firmen aufgefaßt werden. Sie sollen nur die hier wünschenswerte Übersicht bieten, zu der sie sich in bester Form eignen.

optischer Auflösung von feinsten Formelementen, eignen sich unter den Trockensystemen die Fluoritsysteme und die Apochromate am besten (s. Tabellen 4 u. 5).

**13. Objektive mit Korrektionsfassung** (s. Abb. 11 u. 12). Ist der Unterteil mit dem Oberteil so zusammengefaßt, daß durch Drehung an einem Ringstück ihr Abstand verkürzt oder verlängert werden kann, so spricht man von einer Korrektionsfassung. Trockenobjektive, mit einer solchen Fassung, bieten den Vorteil, daß man die vom Objekt verursachten Fehler der Abbildung durch Verstellung der Glieder korrigieren kann.

Hier sei daran erinnert, daß bei jeder Brechung, gleichgültig ob sie durch ein Prisma, eine Linse oder eine planparallele Schicht erfolgt, die Strahlen von verschiedenen Wellenlängen verschieden stark gebrochen werden. Es findet also eine Dispersion des Lichtes und eine chromatische Differenz des Strahlenganges auch im Präparat statt, wenn dieses, wie in der Mikroskopie allgemein üblich, ein Objekt zwischen zwei planparallelen Glasplatten darstellt und die Strahlen erst durch die planparallelen Objektschichten (die Glasschichten und die dazwischenliegende Schicht des Einschlußmittels) in das Abbildungssystem gelangen. Die Größe der vom Objekt bedingten chromatischen Differenz hängt von 4 Faktoren ab, die sind: 1. die Brechungsahl des Mittels zwischen Objekt und Abbildungssystem, 2. die Brechungsahl des Einschlußmittels, 3. die Schichthöhe des Einschlußmittels (der eigentlichen Objektschicht) und 4. die Schichthöhe oder Dicke des Deckglases. Am stärksten wirkt die so erzeugte chromatische Differenz auf die aplanatische Abbildung, wenn das Medium im Zwischenraum und in der Objektschicht Luft ist und das Deckglas dicker ist als 0,17 mm (die normale Deckglasdicke). In solchen Fällen muß die Höhe der Objektschicht, d. h. die Entfernung des in Luft liegenden Objekts von der unteren Deckglasfläche, genau in Rechnung gestellt werden. Weit geringer ist diese Wirkung, falls das Einschlußmittel eine höhere Brechung hat als Luft (Wasser, Glycerin, Lavulose usw.) und am geringsten ist sie, wenn die Objektschicht ungefähr dieselbe Brechung hat, wie Glas (z. B. Kanadabalsam, opt. Zedernöl). Bei einer homogenen Immersion wird leicht erklärlicherweise überhaupt keine chromatische Differenz in der Objektschicht hervorgerufen. Ist jedoch das Einschlußmittel nicht von derselben Brechung wie das Deckglas (z. B. bei in Luft, Wasser, Glycerin usw. eingeschlossenen Präparaten), so wird trotz einer Immersion die Objektschicht die scharfe Abbildung ungünstig beeinflussen. Allerdings liegt in solchen Fällen auch keine homogene Immersion vor (vgl. S. 39). Die Behebung der vom Präparat verursachten chromatischen Diffe-

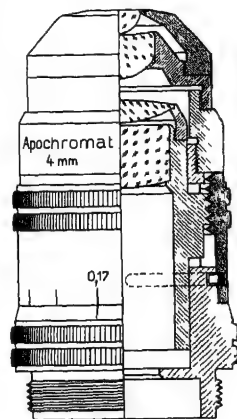


Abb. 11. Trockenapochromat der Firma L. T. 11172 mit Korrektionsfassung (schematischer Durchschnitt).

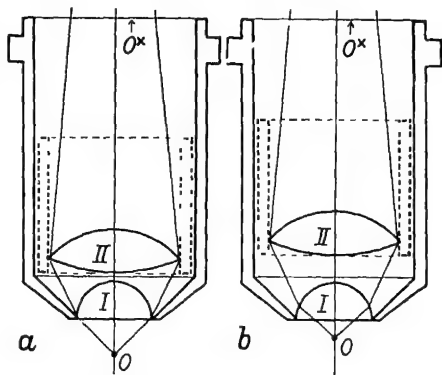


Abb. 12. Schematische Darstellung einer Korrektionsfassung.

Die bewegliche Fassung ist gestrichelt dargestellt. a. Oberteil (II) zum Unterteil (I) stark genähert. b. Oberteil (II) vom Unterteil (I) nicht entfernt. O. Objektpunkt, O'. Richtung zum Bildpunkt. (Aus A. Köhler, [Z. S. 262].)

hervorgerufen. Ist jedoch das Einschlußmittel nicht von derselben Brechung wie das Deckglas (z. B. bei in Luft, Wasser, Glycerin usw. eingeschlossenen Präparaten), so wird trotz einer Immersion die Objektschicht die scharfe Abbildung ungünstig beeinflussen. Allerdings liegt in solchen Fällen auch keine homogene Immersion vor (vgl. S. 39). Die Behebung der vom Präparat verursachten chromatischen Diffe-



renz erfolgt mit Hilfe der Korrektionsfassung folgendermaßen. Das Objektsystem ist unter der Annahme berechnet, daß das Mittel im Zwischenraum und in der Objektschicht Luft ist. Es ist dementsprechend der Abstand festgelegt, bei welchem Unterteil und Oberteil die Krümmungsfehler im Linsensystem mit der von der Objektschicht herrührenden chromatischen Differenz beheben, und zwar bei einer festgesetzten Deckglasdicke (0,17 mm). Die so ermittelte Stellung ist auf einem drehbaren Ringstück mit Teilung ablesbar (Abb 11). Man stellt den Teilungsstrich 17 mit dem Index auf gleiche Höhe und erhält so die auf die normale Deckglasdicke korrigierte Einstellung des Objektivs (für in Luft eingeschlossene Objekte). Die Zahlen der Teilungsstriche sind so gewählt, daß sie den Dezimalen der Deckglasdicke entsprechen. Bei einem Deckglas von 0,18 mm stellt man also auf 18 usw. So lassen sich Unterschiede in der Deckglasdicke innerhalb von 0,1 mm ausgleichen. Bei Präparaten mit Kanadabalsam entsprechen die Zahlen nicht mehr genau der Schichthöhe des Präparats (Deckglasdicke + Objektabstand von der unteren Deckglasfläche), sondern sie sind etwas größer als diese (z. B. die Einstellung auf 18 entspricht nur einer Schichthöhe von etwa 0,175 mm). Bei Präparaten mit anderen Einschlußmitteln (Wasser, Glycerin usw.) kann die Korrektion auf die „Deckglasdicke“ nicht im voraus schon mit dem Ringstück eingestellt werden, wie dies bei Objekten in Luft oder Kanadabalsam der Fall ist, sondern wird während der scharfen Einstellung empirisch erzielt. Selbstverständlich sind die Bedingungen der aplanatischen Abbildung auch sonst im Aufbau der Linsenfolge im höchsten Grade berücksichtigt (Fluoritsysteme und Apochromate). Die Objektive mit Korrektionsfassung liefern deshalb unter den Trockensystemen das schärfste Bild mit der größten Auflösung und haben dementsprechend die stärkste num. Ap. Beim Linsenwechsel muß aber berücksichtigt werden, daß die Länge ihrer Fassung denen der übrigen Objektive nicht angeglichen wurde, sondern infolge der Korrektionseinrichtung länger ist. Für ihr Vergrößerungsvermögen haben sie nur einen sehr geringen Arbeitsabstand, was bei ihrem Gebrauch oft als nachteilig empfunden wird. Trotz ihrer vorzüglichen optischen Eigenschaften wird man deshalb überall, wo dies zulässig<sup>1</sup>, auch solchen Trockensystemen gegenüber den Immersionslinsen den Vorzug geben.

**14. Die Immersionssysteme** (s. Tabellen 5 u. 6). Sie gewähren am besten einen aplanatischen Strahlengang ohne Verlust an abbildenden Strahlen durch Strahlenablenkung oder Reflexion (vgl. Abb 13).

Es sind hauptsächlich drei Flüssigkeiten, die zur Immersion in Betracht kommen: das Wasser, das Glycerin und das sog. Immersionsöl. Dementsprechend gibt es drei Formen von Immersionslinsen: die Wasser-, die Glycerin- und die Öl- oder homogenen Immersionsobjektive. Alle drei Arten bestehen aus Fluoritsystemen oder apochromatischen Linsenfolgen, deren Apertur gewöhnlich zwischen 1 und 1,4 liegt. Während Trockensysteme nicht über eine num. Ap. von 0,95 hergestellt werden können, steigert die Immersion die num. Ap. der Linsen wesentlich über diese Zahl hinaus. Es gibt allerdings auch Immersionsobjektive von geringer Apertur (0,11—0,85), bei denen die Vorteile der Immersion aus besonderen Gründen mit einer geringeren Apertur und einer größeren Brennweite verbunden sind (z. B. für Planktonuntersuchungen und Dunkelfeldmikroskopie). Auch eine stärkere Apertur als die angegebene läßt sich noch erreichen (num. Ap. 1,60), wenn man statt Zedernöl als Immersionsflüssigkeit Monobromnaphthalin verwendet. Da jedoch die Benutzung der Monobromnaphthalin-

<sup>1</sup> In der Mikrophotographie ist das fast immer der Fall. Gewisse Vorteile bieten die Trockensysteme den Immersionslinsen gegenüber hauptsächlich dort, wo das Objekt in Luft eingeschlossen ist.

Immersion besondere Deckglaser und Objektträger erfordert (aus stark brechendem Flintglas), die dementsprechend weit teurer sind — und da die Objekte

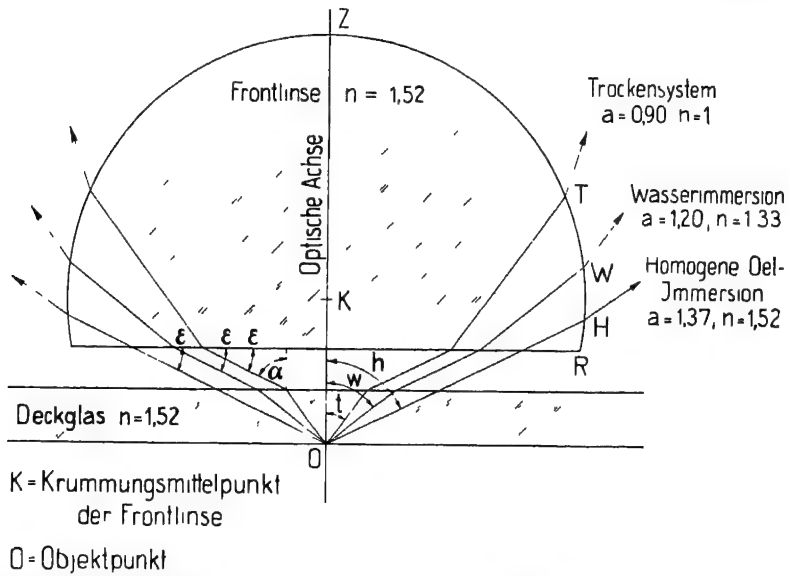


Abb. 13 Schematische Darstellung des Strahlenganges von einem mit Deckglas versehenen Objekt bis über die Frontlinse hinaus,  $u$  bei einem Trockensystem, bei Wasser- und bei homogener Öl-Immersion  $\epsilon$  = Neigungswinkel des Strahls gegen die Frontfläche,  $\alpha$  = Öffnungswinkel  $\alpha$  bei dem Trockensystem,  $w$  bei der Wasserimmersion,  $h$  bei der homogenen Öl-Immersion (aus: LEWIS, KILBROCK, 1908, Nr. 208)

Tabelle 5 Immersionsachromate und Fluoritsysteme (C. ZEISS, Jena)

	Bezeichnung		Bildweite mm	Erster Objekt- abstand mm	Alter Be- zeichnung	Bemerkungen
	Immer- sions- vergrö- ßerung	Numerische Apertur				
Wasser- immer- sionen	6	0,11	24,7	36	Pl	Für Untersuchungen von Objekten unter Wasser. Großer Objekt- abstand. Für 6 sind daher genügend tiefe Gefäße zu benutzen <sup>1</sup> .
	40	0,75	4,3	1,9	D <sup>1</sup>	
	90 mit Korr.	1,18	2,0	0,07	I	Mit Korrektionsfassung für Deckglas- dicken zwischen 0,1 und 0,2 mm
Homo- gene Öl- immer- sionen	50	0,85	3,5	0,40	I <sub>7</sub>	Für Dunkelfeldbeobachtung mit Para- boloid- und Wechselkondensor, auch für bakteriologische Arbeiten
	90	1,25	2,0	0,15	I <sub>12</sub>	
	90 mit Turb.	1,25	2,0	0,16	I <sub>12</sub>	Arbeitssysteme für Kurse und für die laufenden Arbeiten, nur mit Irisblende auch für Dunkelfeldbeobachtungen
	100	1,30	1,8	0,10	I <sub>12</sub> Fl	Fluoritsystem (Halbapochromat) mit besonders guter Farbenkorrektion

<sup>1</sup> Glasgefäß für Wasserimmersion 6 mm Ap 0,11 (für Stativ F. G. X)

Tabelle 6 Apochromate verschiedener Herkunft

I C ZEISS, Jena

	Bezeichnung		Brennweite mm	Freier Objekt- abstand mm	Bemerkungen
	Einzelvergrößerung	Numerische Apertur			
Trockensysteme	5	0,15	30	13	Mit den anderen Trockensystemen am Revolver nicht abzugleichen
	10	0,3	16,2	5	Am Revolver mit den stärkeren Trockensystemen abgeglichen
	20	0,65	8,3	0,7	
	40	0,95	4,3	0,12	Mit Konnektionsfassung. Durch Drehen ihres Ringes kann das Objektiv für die Dicke des benutzten Deckglases genau korrigiert werden. Die Dicke des Deckglases darf zwischen 0,1 und 0,2 mm schwanken. Das Deckglas ist vor der Benutzung mit einem Deckglastaster zu messen.
	60	0,95	2,9	0,07	
Wasserimmersion	70	1,25	2,5	0,11	
Homogene Ölimmersionen	60 mit Insbl.	1,0	2,9	0,22	Sonderobjektiv „X“ für Beobachtungen im Dunkelfeld
	60	1,3	2,9	0,15	Objektive, die infolge ihrer geringen Einzelvergrößerung durch Wechseln der Okulare einen weiten Spielraum der Gesamtvergrößerung gewahren
	60	1,4	2,9	0,13	
	90	1,3	2	0,11	Arbeitsobjektiv
	90	1,4	2	0,05	Sonderobjektiv für Forschungen, bei denen hohe Vergrößerung und möglichst gesteigertes Auflösungsvermögen erforderlich sind. Frontlinse sehr empfindlich gegen Stoß
	120	1,3	1,5	0,08	Sonderobjektiv mit besonders hoher Einzelvergrößerung zum Messen, Zählen oder Zeichnen bei sehr starker Vergrößerung

II E LEITZ, Wetzlar

Bezeichnung		Numer. Apertur	Einzelvergrößerung	1000 Numer. Apertur Einzelvergrößerung
Trockensysteme <sup>1</sup>	16 mm	0,30	11,5	26,1
	8 mm	0,65	23,0	28,3
	4 mm	0,95	46,0	20,7
	3 mm	0,95	66,0	14,4
Homogene Ölimmersion	2 mm	1,32	92	14,1
	2 mm	1,40	92	15,2

<sup>1</sup> Die Apochromate 4 und 3 mm haben Deckglaskorrektur

## III C REICHERT, Wien

	Objektiv- bezeichnung		Num Ap-	Brenn- weite in mm	Mikro- meter- werte mit Ok II in $\mu$	Freier Objekt- abstand in mm <sup>1</sup>	Bemerkungen
	Nummer	Eigen- ver- größe- rung <sup>2</sup>					
Trocken- systeme	16 mm	11,5	0,32	16	16,5	4,9	Histolog. Uebersichtsobjektiv
	8 mm	20	0,60	8	9,7	0,74	
	4 mm	45 <sup>1</sup>	0,90	4	4,4	0,21	
	3 mm	61,5 <sup>1</sup>	0,95	3	3,17	0,16	Deckglaskorrektion
Ol- immersion	2 mm	96	1,33	2	2,04	0,11	Frontlinse gegen Stoß empfindlich
	2 mm	96	1,40	2	2,04	0,11	
	1,5 mm	124	1,30	1,5	1,58	0,12	

<sup>1</sup> Mit Deckglaskorrektionsfassung. Objektive 6a+, 8 und 10 mit Korrektionsfassung Mehrpreis. Kennwort Korek

$$^2 \text{ Eigenvergrößerung der Objektive} = \frac{\text{Optische Tubuslänge}}{\text{Objektivbrennweite}} = \frac{\Delta}{F_{\text{Obj}}}$$

$$\text{Eigenvergrößerung der Okulare} = \frac{\text{Deutliche Sehweite}}{\text{Brennweite der Okulare}} = \frac{250}{F_{\text{Ok}}}$$

<sup>3</sup> Gemessen bei Achromaten mit Mikrometerokular II, bei Apochromaten mit Kompensationsmikrometerokular 6

<sup>4</sup> Unter Berücksichtigung einer Deckglasdicke von 0,18 mm Dicke

## IV W. WATSON &amp; SONS, Ltd., London

(Dieses sog. holoskopischen und apochromatischen Objektive nach dem Katalog 1926 S. 18.)

Objective		Eyepieces—Holoopic and Compensating Diameters									
Mm	Inches	5		7		10		14		20	
*24	1	34	50	47	70	68	100	95	140	136	200
*16	$\frac{2}{3}$	51	75	71	105	102	150	142	210	204	300
12	$\frac{1}{2}$	68	100	95	110	136	200	190	280	272	400
6	$\frac{1}{3}$	102	150	142	210	204	300	285	420	408	600
4	$\frac{1}{6}$	204	300	285	420	408	600	571	840	816	1200
Oil Immersion											
2	$\frac{1}{12}$	408	600	571	840	816	1200	1142	1680	1632	2400

The figures in heavy type represent the 170 mm. tube length.

The figures in italics represent the 250 mm. tube length.

With a shorter or longer tube the magnification can be ascertained by making the tube length employed the numerator and 170 or 250 the denominator, and multiplying the above figures by this fraction. Thus, to ascertain the magnification at 200 m/metric of a  $\frac{1}{6}$ -in. objective, 80 N.A. and No. 2 Eyepiece, the following would be the method,  $390 \times \frac{200}{250} = 312$  diameters.

## V. SPENCER LENS COMP., Buffalo, NY

Equiv. foc. mm.	Initial Magnification	Type	Num. Aperture	Working Dist. in mm.	Diam. of real field mm.	Mic. Value <sup>1</sup>
				With 160 mm. tube length and 10 eyepieces		
16	10,0	dry	0,30	4,5	1,35	0,013
8	20,0	dry	0,65	0,24	0,62	0,00625
4	44,0	dry	0,95	0,20	0,29	0,00285
3	60,0	dry	0,95	0,16	0,21	0,00205
2	90,0	Oil mm.	1,30	0,14	0,145	0,00145
2	90,0	Oil mm.	1,40	0,14	0,140	0,00145
1 1/2	113,0	Oil mm.	1,30	0,08	0,10	0,0009
3	60,0	Oil mm.	1,30	0,20	0,21	0,00205
3	60,0	Oil mm.	1,40	0,17	0,21	0,00205

<sup>1</sup> Ist nahezu  $\frac{1}{100}$  von Diam. of real field mm.

in Monobromnaphthalin eingeschlossen werden müssen, was für das Präparat oft von Schaden ist, so hat die Monobromnaphthalinimmersion keine allgemeine Verbreitung gefunden, und nur in den letzten Jahren ist sie, in Verbindung mit dem Vertikalilluminator (s. S. 229), bei metallmikroskopischen Untersuchungen mit Erfolg angewandt worden.

Die Wasser-Immersionslinsen sind überall dort von Vorteil, wo das Objekt in Wasser oder in wäßrigen Flüssigkeiten liegt, deren Brechung der des Wassers (1,25) nahesteht. Als Immersionsflüssigkeit dient staubfreies destilliertes Wasser. Gewöhnliches Leitungs- oder Brunnenwasser schadet der Abbildung nicht, hinterläßt jedoch beim Verdunsten Niederschläge auf der Linse oder am Deckglas. Die Apertur der Wasser-Immersionslinsen ist geringer (0,11—1,25) als die der entsprechenden Ölimmersion, das Vergrößerungsvermögen kann dabei so stark oder noch stärker sein als jenes der Öl-Immersionslinsen. Hat man also Objekte, welche in wäßrigen Lösungen untersucht oder abgebildet werden sollen, so ist die Verwendung einer Wasserimmersion zweckmäßiger, als einer Ölimmersion. Die Korrektur auf die Deckglasdicke muß allerdings im Unterschied zu den Öl-Immersionslinsen mit einer Korrekturfassung, wie bei den Trockensystemen, hergestellt werden. Am meisten haben sich bisher die Wasser-Immersionslinsen eingebürgert, welche zur Untersuchung von Wasserorganismen in ihren Glasbehältern dienen. Sie eignen sich dafür hauptsächlich infolge ihres größeren Objektabstandes, verbunden mit einer verhältnismäßig hohen Apertur und einer Korrektur, welche diese Systeme der Schichtdicke gegenüber unempfindlich macht. Sie können daher sowohl zur Untersuchung der in ihren Behältern frei liegenden Objekte wie auch für Präparate verwendet werden, bei denen das Objekt in einer höheren Schicht (Mikrokammer) oder in einem hangenden Tropfen liegt (vgl. S. 320).

Werden geringere Vergrößerungen und ein größeres Gesichtsfeld gewünscht, so bieten dafür die sog. Planktonsucher große Vorteile. Diese Vorteile bestehen darin, daß man mit einer sehr guten Strahlenvereinigung arbeiten kann (fast wie bei Apochromaten) und diese nicht im geringsten beeinflusst wird, wenn man die Linse ins Wasser taucht. Bei ihrer großen Brennweite (25 mm) ermöglichen sie das Aufsuchen und Beobachten von Objekten in den Kulturgefäßen. Das von der schwachen Linse (Eigenvergrößerung 6fach) gebotene große Sehfeld ist für eine rasche Orientierung besonders günstig.

Die Fassung der Wasser-Immersionslinsen ist schon bei den älteren Formen insofern rostfrei, als die polierten, häufig auch vernickelten Fassungen aus Messingstahl außen noch von einer feinen Schicht Lack überzogen sind. Diese Fassung — und ebenso die ähnliche Fassung der übrigen Objektivenlinsen — ist gegenüber Schädigungen durch reines Wasser oder Wasserdämpfe geschützt, wenn das Metall nicht allzu lange mit dem Wasser in Berührung steht, die Lackschicht intakt ist und die salzhaltigen wäßrigen Lösungen (z. B. Seewasser) nicht an der Fassung antrocknen. Sie sind trotzdem zum Eintauchen in tieferen Wasserschichten (Kulturgefäße) aus zwei Gründen nicht vollkommen geeignet. Zunächst muß die Linse möglichst sofort nach der Untersuchung gereinigt und ganz trocken abgerieben werden, was bei ständigem Gebrauch unvermeidlich zur Schädigung der Lackschicht führen muß. Ist die Lackschicht aber schadhafte, so ist die Fassung nicht mehr rostfrei. Ferner muß stets berücksichtigt werden, daß von der metallischen Fassung schädliche Einflüsse auf das Objekt ausgeht (oligodynamische Wirkungen), wenn die Fassung längere Zeit mit der Kulturflüssigkeit in Berührung steht. Alle diese Nachteile können behoben werden, wenn die Fassung aus rostfreiem Stahl hergestellt wird, welcher von außen noch mit schwarzem Lack überzogen wird (nach H. FITTING, 1).

Die Öl-Immersionssysteme zeichnen sich den Wasser-Immersionslinsen gegenüber dadurch aus, daß man mit ihnen die stärksten Aperturen (bis 1,4) und damit auch die stärkste forderliche Vergrößerung (bis etwa 2000fach) bei bester Korrektur erreichen kann. Die Vorbedingung dafür ist, daß das Einschlußmedium, das Deckglas und die Immersionsflüssigkeit dieselbe Brechung haben, d. h. daß die Lichtstrahlen vom Objekt in die Frontlinse des Objektivs durch optisch homogene Schichten gelangen (homogene Immersion). Diese Bedingung ist erfüllt, wenn das Objekt zwischen Deckglas und Objektträger in Kanadabalsam, Dammarharz oder optischem Zedernol eingeschlossen ist und als Immersionsflüssigkeit optisches Zedernol benutzt wird.

**15. Das optische Zedernol.** Man erhält durch besondere Verfahren ein so weit eingedicktes und verharztes Zedernol, daß seine Brechzahl  $n_D = 1,515$ — $1,52$  beträgt und also derjenigen des Deckglases ( $n_D = 1,51$  oder ein ähnlicher Wert) sehr nahe liegt. Eine optisch besonders wertvolle Eigenschaft dieses Immersionsöls ist dabei, daß auch seine Dispersion für die verschiedenen Spektralfarben annähernd dieselbe ist, wie die des Glases, jedenfalls sind die Unterschiede für die Brechzahlen der roten, gelben, blauen und violetten Strahlen im Vergleich zum Glase geringer als bei anderen Immersionsflüssigkeiten. Bei diesen gleich weiter unten näher gekennzeichneten Immersionsflüssigkeiten stimmt zwar die Brechzahl für die gelben Strahlen (Natriumlicht) mit der des Glases überein, für die roten, blauen und violetten Strahlen haben sie jedoch merklich andere Brechzahlen. Neben diesen optisch sehr wertvollen Eigenschaften hat jedoch das optische Zedernol auch vielerlei Mangel, welche seinen Gebrauch zum Teil umständlich gestalten. Der praktisch wichtigste von diesen ist der Umstand, daß die optimale Brechung des Zedernols von seinem physikalischen Zustand (Dichte, Viskosität) stark abhängig und durch äußere Einflüsse leicht beeinflussbar ist. Sobald das Zedernol länger an der Luft steht, wird es starker eingedickt und erhält dementsprechend auch eine höhere Brechung, wobei die Bedingung einer homogenen Immersion nicht eingehalten wird. Beim Eindicken an der Luft wird aber das Öl auch zähflüssiger und klebriger, was die Einstellung mit der Mikrometerschraube erschwert. Die störenden optischen Eigenschaften beim Eindicken des Öls an der Luft rühren zunächst von feinen Inhomogenitäten her, welche von der ungleichmäßigen Verharzung des Öls bedingt sind. Die Oberflächenschicht des Öltröpfens an der Grenze Öl-Luft wird nämlich oxydiert und dies führt zu einer stärkeren Verharzung dieser Grenzschicht. Stellt man nun das Objektiv etwas tiefer in den Tropfen hinein, so werden starker verharzte Teile mit weniger verharzten vermischt und so mikroskopisch feine Schlieren erzeugt, was zu einer sehr feinen bei den stärksten Achromaten jedoch störenden Trübung der Bilder führt. Gesteigert wird diese Erscheinung dadurch, daß außer der stärkeren Verharzung auch noch eine Kondensation von feinsten Wassertropfen aus der Luft an der Oberflächenschicht erfolgen kann. Da das Immersionsöl mit Wasser überhaupt nicht vermischtbar ist, genügen schon ganz geringe Spuren von Wasser, um das Öl zu verunreinigen. Arbeitet man also längere Zeit mit Immersionen in einem feuchten Raum, so merkt man bald, daß die Bilder, welche im Moment der Einstellung klar und scharf waren, mit der Zeit trüber erscheinen, und diese Trübung weder durch Änderung der Einstellung noch durch die der Beleuchtung sich beheben läßt. Die Trübung rührt in solchen Fällen davon, daß die wasserhaltige und starker verharzte Oberflächenschicht des Öltröpfens beim Fokussieren mitbewegt und mit den tieferen reineren Schichten vermischt wurde. Man soll das Immersionsöl in besonderen Behältern aufbewahren, in denen die Grenzfläche zwischen Öl und Luft auf ein Mindestmaß eingeschränkt ist. Ist das Öl trotzdem etwas eingedickt

da der Verschuß solcher Behälter aus Rücksicht auf eine rasche Arbeit nicht luftdicht ist, so eignet sich zum Auflösen der Verharzung der Oberflächenschicht das gewöhnliche chemisch reine Zedernöl am besten (GRÜBLER, MERCK) das man tropfenweise zum eingedickten Immersionsöl zusetzt, die Wirkung mit dem Refraktometer kontrolliert. Statt des etwas umständlichen Verfahrens mit dem Refraktometer eignet sich zum Prüfen des Öls vorzüglich das Verfahren von A. KOHLER (4) mit einem Probeplättchen ( $n_D = 1,515$ ) und einer Spaltblende von 3 mm Breite zum Einlegen in den Blendenträger des ABBSCHER Beleuchtungsapparats<sup>1</sup>

Nach beendeter Arbeit müssen Linse und Präparat gereinigt werden (s. auch S. 31). Am besten reinigt man die Linsen indem man erst das Öl mit einem trockenen Tuch abwischt, dann das Tuch mit Xylol, Chloroform oder Ather-Alkohol befeuchtet und damit auch die letzten Reste des Öls entfernt. So verfährt man auch mit den Präparaten, wenn das Objekt zwischen Deckglas und Objekträger fest eingeschlossen ist (bei Kanadabalsam- oder bei umrandeten Präparaten). Bei Präparaten, die nicht in festen Einschlußmitteln untergebracht sind (Immersionsöl, Terpeneöl und ähnlichen), oder wo das Einschlußmittel noch nicht fest geworden ist (frischen Kanadabalsampräparaten), verfährt man am besten so, daß man einen mit Chloroform durchtränkten Fließpapierstreifen auf das Deckglas legt und dieses mit einem zweiten drittem usw. abtupft, bis auf dem Fließpapier keine Ölspur mehr sichtbar sind. Dieses Verfahren sei übrigens auch allgemein für die Reinigung der Kanadabalsampräparate empfohlen, da es die beste Gewähr für eine einwandfreie Reinigung bietet. Beim Abwischen mit benutzten Leintüchern und ähnlichem werden nur zu oft an Stelle des Immersionsöls Verunreinigungen anderer Art verwischt. Die Entfernung des Immersionsöls soll möglichst gleich nach Beendigung der Arbeit erfolgen, solange das Öl noch nicht stark eingedickt ist. An und für sich schadet eingedicktes Öl der Linse ebenso wenig wie den unter Deckglas eingeschlossenen Objekten. Da jedoch mit der Zeit das Öl harte, schwerlösliche Harzschichten bildet, braucht man zum Entfernen später ein energischeres Reiben und mehr Lösungsmittel, was für Linse und Präparat gleich schädlich ist.

Das Immersionsöl wird bei einem längeren Stehen an der Luft nicht nur in seinem physikalischen Zustand, sondern auch in seiner chemischen Konstitution beeinflusst. Es wurde schon erwähnt, daß bei der Verharzung der Oberflächenschicht Oxydationsvorgänge mitspielen. Bei starkerer Verharzung nimmt das Öl dann auch eine saure Reaktion an, welche für das Objektiv zwar ohne Bedeutung bleibt, für das Präparat jedoch schädlich sein kann, wenn man das Objekt ohne Deckglas einstellt. Bei der homogenen Immersion ist es für die Optik der Abbildung gleichgültig, ob das Objekt mit Deckglas bedeckt ist oder in unbedecktem Zustande beobachtet wird. Diese letztere Art ist sogar optisch vorteilhafter, da die Brechung des Deckglases nicht vollkommen mit derjenigen des Immersionsöls übereinstimmt. Dort, wo die Natur des Objekts es zuläßt, ist es also ratsam, die Immersionslinse ohne Deckglas auf das Objekt einzustellen. Dieses Verfahren ist bisher hauptsächlich bei den Ausstrichpräparaten (Blut- und Bakterienausstrichen) angewandt worden. Kommen jedoch die Objekte mit dem Immersionsöl unmittelbar in Berührung, so kann die saure Reaktion des Öls der Färbung des Präparates schaden<sup>2</sup>. Bleibt also das Immersionsöl auf einem gefärbten Ausstrichpräparat länger liegen, so bleicht die Färbung unterhalb der verharzten Ölschicht aus.

Zahlreiche Versuche wurden schon angestellt, um an Stelle des Zedernöls andere geeignete (und billigere) Immersionsflüssigkeiten in die Mikroskopie

<sup>1</sup> Siehe ZEISS Druckschrift Mikro 371 (F. 72)

<sup>2</sup> Die saure Reaktion des Immersionsöls kann nach HORNBOERN (zit. nach KOHLER, A. [9, S. 268]) mittels angefeuchteter blauer oder violetter Lackmuspapierstreifen geprüft werden. Man feuchtet das Papier mit destilliertem Wasser an und gibt einen Tropfen Öl auf die feuchte Stelle. Ist das Öl sauer, so wird die Stelle rot. Trockenes Papier zeigt keine Färbungsreaktion.

einzuführen. Man hat versucht, Paraffinöl mit Naphthalin (WASICKY), 50% Glycerin mit Jodkali gesättigt (HARTRIDGE) oder Anisol bzw. Methylbenzoat (S. BECHER [1]) zu benutzen<sup>1</sup>. Die letzterwähnten haben den Vorteil, daß sie noch auf dem Deckglas, innerhalb einiger Minuten restlos verdunsten. Alle diese und ähnliche neue Immersionsflüssigkeiten haben dem optischen Zedernöl gegenüber den grundsätzlichen Nachteil, daß ihre Brechung zwar für gelbes Licht ( $n_D$ ) dieselbe Höhe zeigt wie das Zedernöl, für rot und orange gefärbtes Licht jedoch kleiner, für blaues und violettes Licht aber größer ist. Wie A. KOHLER (9, S. 267) es betont, ist zur Zeit keine Flüssigkeit bekannt, die als einwandfreier vollwertiger Ersatz für das Zedernöl angesprochen werden kann.

**16. Der Aufbau der Objektive für homog. Immersion** (s. Abb. 9 u. 14). Während sonst bei allen übrigen Objektiven die Frontlinse aus einer einzigen plankonvexen Linse oder einem achromatischen Linsenpaar gebildet wird, muß man bei den Öl-Immersionslinsen, um die durch die homogene Immersion gebotene große Apertur voll auszunutzen, die Frontlinse aus zwei Linsen zusammenbauen, von denen die vordere eine dicke plankonvexe Sammellinse, die hintere aber ein Sammelméniskus mit zwei neuen Flächen ist (Duplexfront). Weiter nach oben bzw. nach hinten folgen dann bei den Fluoritsystemen zwei Glieder aus Zwillingslinsen, bei den apochromatischen Systemen drei Glieder, von denen das erste eine Zwillingslinse, die übrigen Drillingslinsen sind. Auch die Fassung der Frontlinse zeigt eine Besonderheit, welche bei der Einstellung und Reinigung der starken Immersionsapochromate beachtet werden muß. Bei den Fluoritsystemen liegt die Fassung am Äquator der Linse (halbkugelförmige Frontlinse), bei den starken Apochromaten etwas über dem Linsenäquator (überhalbkugelige Frontlinse). Solche überhalbkugelförmigen Linsen der starken Apochromate (Ap. 1,4) sind daher gegen mechanischen Druck sehr empfindlich, da sie „wie ein Ei im Eierbecher in der Fassung sitzen“ (A. KOHLER [9, S. 268]).

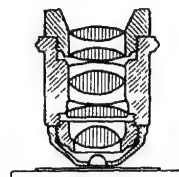


Abb. 14. Schematischer Durchschnitt eines Immersionsapochromates (Aus A. BIRNBAUM [1, Abb. 617 S. 577]).

Weit seltener als die Homogen- oder die Wasser-Immersionslinsen werden Glycerin-Immersionssysteme benutzt, was hauptsächlich mit dem immer selteneren Gebrauch des Glycerins als Einschlußmittel zusammenhängt. In Wirklichkeit sind die Störungen der sphärischen Korrektur auch dann recht unscheinbar, wenn man Glycerinpräparate mit Öl-Immersion einstellt. Dort aber, wo das Auflösungsvermögen des Mikroskops bis auf die Grenze der Leistungsfähigkeit ausgenutzt werden muß, wie z. B. bei der Auflösung ultramikroskopischer Strukturen, ist es doch von Vorteil, statt Öl-Glycerin als Immersionsflüssigkeit zu wählen, wenn das Objekt in einem Medium eingeschlossen ist, dessen Brechung näher derjenigen des Glycerins als des Immersionsöls liegt. Für solche besonderen Zwecke eignen sich daher die Glycerin-Immersionslinsen (wie z. B. das ZEISS-Obj. spez. V, für Dunkelfelduntersuchungen) besser. Es sei dabei noch bemerkt, daß selbstverständlich auch die als Öl-Immersionslinsen bezeichneten Objektive ohne weiteres mit Glycerinimmersion benutzt werden können. Sie büßen dann entsprechend etwas von der an der Fassung für eine Homogenimmersion angegebenen Apertur ein. Optisch ist es jedenfalls einwandfreier und gerade für Mikraufnahmen zweckmäßiger, Präparate, die in Glycerin, Lavulose oder in einem Einschlußmittel von ähnlicher Brechung eingebettet sind, statt mit Öl mit einer Glycerinimmersion einzustellen.

<sup>1</sup> Vgl. P. STONINSKI (1).



## V. Die Okularlinsen (s. Tabelle 7)

**17. Einteilung und Aufbau.** Sie stellen ebenfalls zusammengesetzte, in Metallfassungen befindliche Linsensysteme dar, die einfacher gebaut sind als die Objektive. Man steckt sie in die obere Öffnung des Tubus hinein, in die sie genau hineinpassen. Sie bestehen aus zwei Gliedern und einer in der Fassung liegenden Blende (Sehfeldblende). Die Glieder sind entweder aus einfachen Linsen (gewöhnliche Okulare) oder aus zusammengeklebten Linsenpaaren (KELLNERSche Okulare, periplanatische und Korrektionsokulare) hergestellt (s. Abb. 9c u. e). Die Zusammenstellung der Glieder erfolgt entweder nach dem HUYGENSSchen oder nach dem RAMSDENSchen Plan.

In den HUYGENSSchen Okularen sind zwei plankonvexe Linsen, mit ihren ebenen Flächen dem Beobachter zugewandt, so einander zugeordnet, daß das vom Objektiv gelieferte Zwischenbild von der unteren Linse des Systems in den Brennpunkt der oberen Linse abgebildet wird. Von diesem letzteren gelangen dann parallel gerichtete Strahlen in das Auge des Beobachters (s. Abb. 4, I). Die untere Linse wird, da sie die vom Objektiv herkommenden Strahlen in dem vorderen Brennpunkt der oberen Linse sammelt, als Kollektorlinse bezeichnet,

Tabelle 7. Okulare verschiedener Art und verschiedener Herkunft

HUYGENSSche Okulare (E. LEITZ)						
Bezeichnung	0	1	2	3	4	5
Eigenvergrößerung	4×	5×	6×	8	10	12×

Periplanatische Okulare (E. LEITZ)									
Bezeichnung nach der Eigenvergrößerung	P O	P O	P O	P O	P O	P O	P O	P O	P O
	4×	5×	6×	8×	10×	12	15	20	25

HUYGENSSche und orthoskopische Okulare (C. ZEISS)									
	HUYGENSSche Okulare (H)					Orthoskopische Okulare			
Einzelvergrößerung	4×	5×	7×	10	15×	12,5	17	28	
Brennweite in mm	63	50	36	25	17	20	15	9	
Sehfeldzahl <sup>1</sup>	24	23	18	14	8	16	13	6,5	

	Kompensationsokulare (K)							
Einzelvergrößerung	3	5	7	10	15	20	30	
Brennweite in mm	83	50	36	25	17	12,5	8,4	
Sehfeldzahl <sup>1</sup>	23	23	18	13	11	8	5,7	

Okulare der Firma C. REICHERT													
Huygenss Okulare						Orthoskopische Okulare		Kompensations Okulare					
Brennweite in mm	63	50	36	28	19	17	11	83	50	31	19	15	10
Sehfeldzahl <sup>1</sup>	20	21	18	17	14,5	13,5	11,5	20	22	16	10	9,7	7

<sup>1</sup> Sehfeldzahl: Sehfeldzahl durch die Eigenvergrößerung der Objektive ergibt den Durchmesser des überblickten Objektfeldes (bei 160 mm Tubuslänge). Sehfeldzahl mal Eigenvergrößerung des Okulars den Durchmesser des auf 250 mm (deutliche Sehweite) bezogenen virtuellen Bildes.

die obere als Augenlinse. Bei den HUYGENSSchen Okularen hat die Kollektorlinse eine etwa dreimal so große Brennweite als die Augenlinse. Die gesamte Brennweite des ganzen Okulars ist etwa gleich der halben Kollektorbrennweite und das Einundeneinhalbfache der Brennweite der Augenlinse. In der Ebene, wo der vordere Brennpunkt der Augenlinse liegt, ist die Sehfeldblende untergebracht und begrenzt also hier den in die Augenlinse fallenden Lichtstrom. Das Zwischenbild der Eintrittspupille wird von der Augenlinse je nach der Okularbrennweite bald näher, bald weiter abgebildet (Austrittspupille des ganzen Mikroskops, s. Abb. 4, F\*). Hier bei dieser Austrittspupille liegt auch der Punkt, an den man das Auge bringen muß, damit die Austrittspupille von der Augenpupille des Beobachters vollständig aufgenommen wird (Augenpunkt). An Okularen, bei denen die Austrittspupille von der Augenlinse etwas mehr entfernt liegt, ist eine besondere Blende aus Metall auf die Augenlinse aufgesetzt, um das bequemere Aufsuchen der Austrittspupille mit dem Auge zu ermöglichen.

Während das vom Objektiv erzeugte reelle Bild (Zwischenbild) bei dem HUYGENSSchen System zwischen Kollektor- und Augenlinse liegt, befindet es sich bei den RAMSDENSchen Okularen vor der Kollektorlinse. Auch diese Okulare bestehen aus zwei plankonvexen Linsen: der Augen- und der Kollektorlinse, welche mit ihren konvexen Flächen zueinandergekehrt sind. Die Brennweiten der zwei Linsen sind gleich, das Zwischenbild liegt nahe der Planfläche der Kollektorlinse und wird durch beide Linsen betrachtet. Daim liegt auch der Grund, warum man die RAMSDENSchen Systeme hauptsächlich für Meßokulare verwendet. Die Sehfeldblende ist bei diesen Systemen vor der Kollektorlinse in der Ebene des Zwischenbildes angebracht. Legt man also einen Okularmikrometer auf diese Blende, so wird er genau mit derselben angularen Vergrößerung abgebildet wie das Zwischenbild, im Gegensatz zu den HUYGENSSchen Okularen, wo das Zwischenbild zwar ebenfalls von beiden Linsen des Okulars, der Okularmikrometer jedoch nur von der Augenlinse vergrößert wird. Ein Nachteil der RAMSDENSchen Okulare ist, daß das Zwischenbild zu nahe der unteren Linse und daß außerdem die Austrittspupille des Mikroskops knapp oberhalb der Augenlinse, also in einer für länger dauernde Untersuchungen ungünstigen Lage liegt. Das ist allerdings nur bei den schwächeren Okularen der Fall, bei den stärkeren nicht. Hier liegt die Austrittspupille des Mikroskops, d. h. der Augenpunkt, günstiger als bei den starken HUYGENSSchen Okularen, namentlich wenn man sie mit schwachen Objektiven benutzt. Solche starken RAMSDENSchen Okulare sind z. B. die sog. KELLNERSchen Okulare mit einem achromatischen Linsenpaar als Augenlinse.

Schon die gewöhnlichen Okulare, besonders solche mit starkerer Vergrößerung, sind auf die Farbenfehler (Farbenfehler der Vergrößerung, primäres Spektrum) korrigiert. Die Sehfeldblende, deren Öffnung der num. Ap. der Objektive angepaßt und deren Abstand vor oder zwischen den Gliedern des Okulars dementsprechend genau festgelegt ist, hat einen entscheidenden Einfluß auf die Korrektur des Astigmatismus der schiefen Strahlenbündel und auf die Verzeichnung. Die Bildfeldkrümmung bleibt jedoch bei Verwendung der gewöhnlichen Okularsysteme bestehen. Um die Wölbung des Zwischenbildes zu mindern, hat man also solche Okulare gebaut, deren Augenlinse ein Bild mit entgegengesetzter Wölbung erzeugt und das Zwischenbild also für das Auge des Beobachters oder auf einem Projektionsschirm annähernd in einer Ebene abbildet. Solche auf die Bildfeldkrümmung korrigierten Okulare nennt man wölbungsmindernde, wie solche z. B. die periplanatischen (LEITZ), die periskopischen und komplanatischen (WINKEL) oder die orthoskopischen (ZEISS) Okulare sind. Die Augenlinse ist hier aus zwei Linsen verkittet; sie sind also, wie die KELLNERSchen Okulare, chromatisch weitgehend korri-

giert (besser als die Kompensationsokulare) und sind deshalb zu Achromaten und Fluoritsystemen die geeignetsten Okulare. Da jedoch die Bildfeldkrümmung je nach Apertur und Brennweite des Objektivs verschieden groß ist, können die Okulare einer dieser Arten nicht beliebig mit den verschiedenen Objektiven benutzt werden, da sie nicht bei allen den gleichen Vorteil zeigen. Das bestgegebene Gesichtsfeld erhält man bei schwächeren Objektiven, wo die Sehfeldkrümmung geringer ist, bei hohen und höchsten Aperturen muß man stets die Vorschriften der Werkstätte bei der Auswahl solcher wölbungsmindernden Okulare befolgen<sup>1</sup>. Bei apochromatischen Objektiven einsetzen die derartig gebauten Okulare die Kompensationsokulare nicht (§ S 16), wenn auch der Unterschied bei Apochromaten niedriger Apertur (bis 0,95) kaum merkbar ist.

**18. Die Kompensationsokulare.** Sie sind eigens zu den Apochromaten gebaute Okularlinsen, welche die Strahlen der verschiedenen Spektralbereiche in demselben Betrage, aber in entgegengesetzter Richtung brechen wie die Apochromate. Das Kompensationsokular zerstreut also am wenigsten diejenigen Farbenstrahlen, welche vom Objektiv am stärksten zerstreut werden, und umgekehrt. Mit anderen Worten: Vergrößert das Objektiv das blaue Bild am stärksten und das rote am geringsten, so vergrößert das Okular das rote am stärksten und das blaue am geringsten. Die schwächeren Kompensationsokulare sind nach dem HUYGENSSchen, die stärkeren, mit einer Sehfeldblende vor der Kollektorlinse, nach dem RAMSDENSchen Grundplan gebaut. So wie schwächere Apochromate auch mit gewöhnlichen und periplanatischen Okularen benutzt werden, kann man auch Kompensationsokulare mit stärkeren (über 0,65 Ap.) Achromaten und Fluoritlinsen verwenden. Bei schwächeren Achromaten sind Kompensationsokulare nicht zu empfehlen, da ihre besondere chromatische Korrektur hier das vom Objektiv farbenfrei erzeugte Bild ungünstig beeinflusst und am Rande des Bildes Farbensäume erzeugt<sup>2</sup>. Die Bildkrümmung wird durch die Kompensationsokulare nicht behoben.

**19. Die Homale (Abb 15)** Diese eigens zu mikrophotographischen Zwecken gebauten Linsen (aus den ZEISS-Werken von H. BOERHOFF und A. KOHLER [1]) können insofern nicht als Okularlinsen bezeichnet werden, als sie Zer-

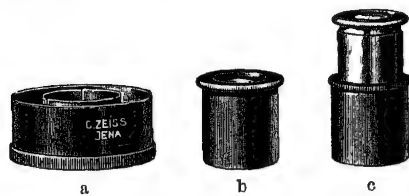


Abb 15 Homal (b) mit Paßstück (a) und Zwischenstück (c) mit aufgesetztem Okular. (Aus ZEISS-Druckschrift Mikro 401.)

streuungslinsen sind, welche für sich benutzt von greifbaren Gegenständen kein auffangbares Bild liefern. Für das auf die richtige Stelle geworfene Zwischenbild erhält man mit den Homalen eine dem Apochromaten angepaßte Über- und Unterkorrektur und eine vollkommene Ebenung des Bildfeldes. Zu verschie-

denen Objektiven passen verschiedene Homale, so Homal I für schwache Apochromate und Achromate bis Ap 0,4, Homal III für stärkere Trockensysteme und Homal IV für Halbapochromate und apochromatische Immersions-

<sup>1</sup> So ist z. B. für mikrophotographische Aufnahmen mit starken Achromaten und Fluoritlinsen das periplanatische Okular 8 der Firma LITZ am besten geeignet.

<sup>2</sup> Die Farbensäume, die bei stärkeren Kompensationsokularen auch in Verbindung mit Apochromaten um das Bild herum oft sichtbar werden, rühren ebenfalls von der besonderen chromatischen Korrektur des Okulars her. Hier wird jedoch nicht das Zwischenbild vom Korrektionsokular beeinflusst, sondern nur das Bild der Sehfeldblende, die bei diesen starken Okularen vor der Kollektorlinse liegt. So zeigt dann der Rand des Sehfeldes einen deutlichen roten Saum, während das Bild der Objekte vollkommen farbenfrei bleibt. An dieser Erscheinung kann man die Eigenheit der Kompensationsokulare am besten verfolgen.

linsen. Ihre besondere Bauart aus Zerstreuungslinsen bedingt eine besondere Art der Unterbringung im Mikroskoptubus, d. h. weit näher zur Objektivlinse, als das bei den Okularen der Fall ist. Dazu wird die Auszugsvorrichtung entfernt und das Homal an deren Stelle mit einem Paßstück in den weiten Tubus hineingesetzt. Zur subjektiven Beobachtung hebt man die Homale aus diesem Paßstück heraus und setzt mittels eines Zwischenstücks gewöhnliche Okulare bzw. Kompensationsokulare ein. Wie schon gesagt, erzeugen die Homale allein kein reelles Bild. Die Wirkung, welche sie auf die Gesamtvergrößerung des Bildes ausüben, kann also nur rechnerisch bestimmt werden. Dafür muß man den Abstand vom oberen Fassungsrand des Homals bis zur Projektionsfläche (Mattscheibe, lichtempfindlichen Platte) in Zentimetern messen, dazu 3,5 cm addieren und durch 2 dividieren. Multipliziert man mit der so erhaltenen Zahl die Einzelvergrößerung des Objektivs, so erhält man die Gesamtvergrößerung des Bildes an der Projektionsfläche. Die Zahl, welche angibt, wieviel mal die Einzelvergrößerung des Objektivs multipliziert werden muß, ist auch an der Fassung der Homale angegeben. Bei den Homalen des Phoku (*s. S. 166*) beträgt sie z. B. 4,7—5,2, entsprechend einer Okularvergrößerung fünffach, bei den Homalen zu den großen mikrophotographischen Apparaten (*s. S. 149*) entspricht das Vergrößerungsvermögen (Einzelvergrößerung) einem Okular von zwölffacher Vergrößerung.

**20. Die Projektionsokulare** (Abb. 16). Bei subjektiver Beobachtung fällt das vom Objektiv entworfene Zwischenbild, wie schon erwähnt, in den Brennpunkt der Augenlinse der HUYGENSSchen Okulare. Von der Augenlinse werden also die von hierher stammenden Strahlen parallel gerichtet und erzeugen ein virtuelles Bild. Ein reelles Bild kann man bei gleichbleibenden Verhältnissen nur dann erhalten, wenn man zwischen Okular und Projektionsfläche eine Sammellinse aufstellt, welche die aus der Augenlinse parallel austretenden Strahlen konvergent macht und auf dem Aufnahmeschirm zu Bildpunkten vereinigt. Einfacher erzielt man dasselbe, wenn man die optische Tubuslänge derart verändert, daß das Zwischenbild nicht in den Brennpunkt des Okulars, sondern vor diesem und ausreichend nahe am Brennpunkt entsteht. Das kann man auf zweierlei Weise erreichen. Die eine in der Mikrophotographie allgemein verbreitete Methode (nach A. KOEHLER [*8*, S. 170S]) ist die, daß man das Okular im Tubus um einige Millimeter verschiebt, bis auf dem Bildschirm ein reelles und scharfes Bild erscheint<sup>1</sup>. Durch eine so geringe Veränderung der optischen Tubuslänge wird die Korrektur der Abbildung nicht merklich beeinflusst, solange man gewöhnliche oder wolbungsmindernde Okulare und keine Kompensationsokulare benutzt. Bei diesen letzteren jedoch, wo die Farbkorrektur der Apochromaten von der Lage der Okularlinse weitgehend abhängig ist, wird die Farbkorrektur

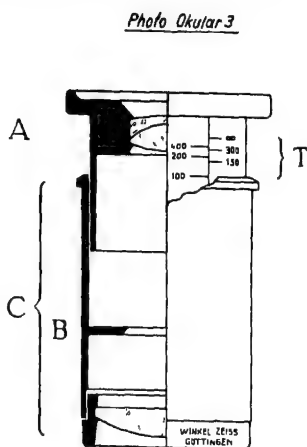


Abb. 16. Photographisches Okular der Firma WINKEL ZEISS (Büschelbaum ohne Abbildung in WINKEL Patent schritt Nr. 205).

*A* = Auszug der Augenlinse. *T* = Entfernung des Zwischenbildes von der Augenlinse. *B* = Blende, *C* = eigentliches Okularrohr. Schraffierter Rand deutet auf Einstellmarken der Entfernungseinstellung.

<sup>1</sup> Man kann die optische Tubuslänge, d. h. die Lage des Zwischenbildes, auch durch Höhen- oder Tiefenstellung der Objektivlinse beeinflussen und durch Verschiebung des Brennpunktobjektabstandes im Objektivraum das reelle mikroskopische Bild erzeugen. Darüber *s. S. 83*.

schon bei geringen Änderungen der optischen Tubuslänge verschlechtert. Will man also die Vorteile der Apochromate auch bei der Mikriprojektion nutzbar machen, so muß man besonders konstruierte Kompensationsokulare verwenden, bei denen die Augenlinse (ein Anastigmat aus drei Linsen verkittet) in Schnecken-gangfassung so angebracht ist, daß man sie dem Zwischenbild nahe einstellen oder von diesem entfernen kann. Das Zwischenbild bleibt also hier genau in der Ebene, für welche die Korrektur des Okulars berechnet ist. Nur der Abstand zwischen Augenlinse und Zwischenbild ist veränderlich (für subjektive Beobachtung kurzer, für objektive Beobachtung, d. h. Projektion, langer). Die Güte und Schärfe der Abbildung bleibt bei der Projektion unbeeinflusst. Die Bildfeldkrümmung wird jedoch mit den Projektionsokularen nicht behoben (Über die photographischen Okulare der Firma WINKEL s. S. 83).

**21. Die Bezeichnung.** Auch hier begegnet man bei älteren Formen willkürlich gewählten Buchstaben oder Ziffern, bei neueren eine Zahl, welche entweder die Vergrößerung des Okulars (Lupen- oder Einzelvergrößerung) bei konstanter optischer Tubuslänge (ZEISS) oder ein bestimmtes Verhältnis zur Brennweite und dementsprechend auch zur angularen Vergrößerung ausdrückt (LEITZ, REICHERT, WATSON). Schwächere Okulare als mit einer Vergrößerung  $3\times$  werden selten gebraucht. Für starke Apochromate hat man jedoch mit den Ziffern 1 und 2 eigene schwache Kompensationsokulare gebaut, welche ein großes Gesamtbild<sup>1</sup> des ganzen eingestellten Gesichtsfeldes liefern und daher zum Aufsuchen bestimmter Stellen im Präparat mit starken Objektiven besonders geeignet sind (Sucherlinsen).

Neben den Ziffern für die Vergrößerung wird auf der Fassung der zu besonderen Zwecken oder mit besonderen Eigenschaften hergestellten Systeme diese Eigenheit angezeigt. So bedeutet z. B. K oder Komp Kompensationsokulare, PO Projektionsokulare usw.<sup>2</sup>

## VI. Der Beleuchtungsapparat des Mikroskops (s. Tabelle 8)

**22. Einteilung und Aufbau.** Im allgemeinen unterscheidet man in der Mikroskopie zwei Arten von Beleuchtung: die Beleuchtung mit auffallendem und die mit durchfallendem Licht. Die letztere Art wird am häufigsten benutzt, weshalb hier nur die Einrichtung zur Beleuchtung mit durchfallendem Licht geschildert werden soll, während die Methodik für das auffallende Licht (Auflicht) auf S. 218 beschrieben wird.

Im durchfallenden Licht erfolgt die Beleuchtung des mikroskopischen Objekts aus einer geeigneten Lichtquelle (s. S. 60) mit dem Beleuchtungsapparat (Abb. 17). Dieser besteht aus einem Spiegel mit einer ebenen (planen) und einer hohlen Spiegelfläche, aus einem Linsensystem, dem Kondensor und aus der Irisblende.

Der Kondensor wird in einer Schieberhülse und der Spiegel in einem allseitig drehbaren halbkreisförmigen Halter an einem gemeinsamen Gestell befestigt, welches durch Zahn und Trieb mit dem Unterteil des Stativs bewegbar verbunden ist. Ein Triebknopf besorgt die Höhenverstellung des Kondensors, während der Spiegel (falls dafür keine speziellen Einrichtungen getroffen sind) am unteren Ende des Gestelles zwar drehbar, aber nicht hebbbar angebracht ist. Zwischen Kondensor und Spiegel befindet sich auf einem besonderen aus-

<sup>1</sup> Die Okularvergrößerung entspricht etwa der dreifachen.

<sup>2</sup> Man kann mikrophotographische Bilder auch ohne Okularlinsen erhalten, wenn man mit einer kleinen photographischen Platte im Tubus das Zwischenbild auffängt. Von einem solchen Verfahren hat K. STRAUM (1) besondere Vorteile gehabt bei der Abbildung schwach doppelbrechender Kolloidstrukturen.

und einklappbaren Halter die Irisblende. An den großen Beleuchtungsapparaten besteht der Blendenhalter aus einem unteren und einem oberen, die Irisblende umfassenden Teil, die gegeneinander durch Zahn und Trieb in der horizontalen Ebene verschiebbar und dabei um die vertikale Achse drehbar sind. Ist der Blendenträger unterhalb des Kondensors in die optische Achse des Mikroskops eingeclappt, so kann man mittels des Triebknopfes am Blendenträger die Irisblende exzentrisch stellen, wie das für die einseitige schiefe Beleuchtung erforderlich ist. Die Fassung der Irisblende trägt oben eine Teilungsskala, auf der die Stellung des kleinen Hebels, mit welchem die Iris geöffnet oder zusammengezogen wird, ablesbar ist.

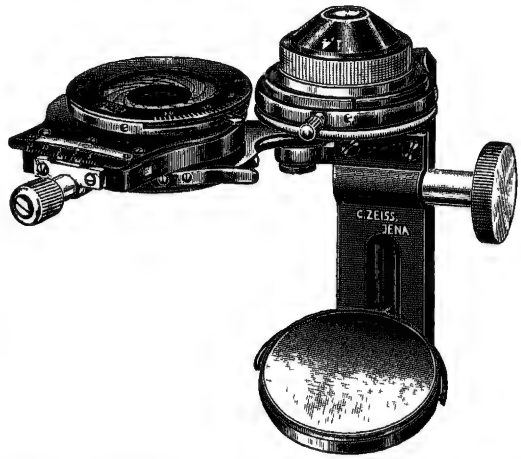


Abb. 17. ABBESCHER dreh- und verschiebb. mit ausgeklapptem B. (Aus A. KÖHLER)

Tabelle 8. Bestandteile eines großen ABBESCHEN Beleuchtungsapparates (aus der REICHERT-Druckschrift Mikro 114d)

Nr	Vertikalstellung	Kondensor	Irisblende	Einrichtung	Verwendungszweck
133	durch Zahn und Trieb	2 linsig num Ap 1,20	seitlich verstellbar durch Zahn und Trieb	Mit Ausklappvorrichtung für den Kondensor. Nach Ausklappen des Kondensors wirkt die Irisblende als Aperturblende.	für alle Arten gerader und schiefer Beleuchtung
134	„	3 linsig num Ap 1,40	„	„	„
137	„	aplanatisch num Ap 1,40 sphärisch und chromatisch korrigiert	„	„	wie 133 sowie Mikrophotographie und Projektion
113	„	2 linsig num Ap 1,20	„	Kondensor nicht ausklappbar	für alle Arten gerader und schiefer Beleuchtung
114	„	3 linsig num Ap 1,40	„	„	„
117	„	aplanatisch num Ap 1,40 sphärisch und chromatisch korrigiert	„	„	wie 113 sowie Mikrophotographie und Projektion

**23. Der Planspiegel.** Der Öffnungswinkel des Beleuchtungskegels hängt hier von der Strahlenbegrenzung ab, die man entweder ohne Blenden durch die Tischöffnung oder durch Blenden erzielt, welche man in die Tischöffnung einsetzt (Zylinderblenden) bzw. unterhalb der Tischöffnung aufstellt (Gesichtsfeldblenden). Weiter aber hängt die Apertur der Beleuchtung von der Entfernung der Lichtquelle oder des Spiegels zur Tischöffnung ab. Nehmen wir den einfachsten Fall, daß man keine besonderen Blenden zur Strahlenbegrenzung benutzt und das Mikroskop mit einem Planspiegel beleuchtet. Wenn man dabei von der Flachengröße der Lichtquelle absieht und annimmt, daß die ganze Spiegelfläche Lichtstrahlen reflektiert, so ist leicht festzustellen, daß, je näher der Spiegel zur Tischöffnung steht, um so breiter der Lichtkegel wird, welcher auf die Tischöffnung geworfen wird. Über einen bestimmten Abstand hinaus hat es keinen Sinn mehr, den Spiegel noch weiter der Tischöffnung zu nähern, da diese nur einen zentralen Teil des Lichtstromes aufnehmen kann. In diesem Fall stellt also die Tischöffnung die Eintrittsoffnung der Beleuchtungsstrahlen dar (Eintrittsluke). Stellt man Blenden zwischen Tischöffnung und Spiegel (oder Lichtquelle) auf, deren Öffnung kleiner als die des Tisches ist, so werden diese die Funktion der Eintrittsluke übernehmen.

Wie ändert sich aber die Apertur der Beleuchtung nach der Flachengröße der Lichtquelle? Unsere frühere Annahme war, daß die lichtspendende Spiegelfläche in ihrer ganzen Ausdehnung von der Lichtquelle aus Strahlen erhält, d. h. vollkommen und gleichmäßig ausgeleuchtet ist. Das ist nur dann der Fall, wenn man eine sehr große leuchtende Fläche, wie z. B. den wolkenlosen bestrahlten Himmel, als Lichtquelle benutzt oder einen großen Leuchtkörper in nächster Nähe des Spiegels (notigenfalls mit entsprechenden Reflektoren oder Sammellinsen ausgerüstet) aufstellt. Bei solchen großen leuchtenden Flächen wirft die ganze Spiegelfläche Strahlen in die Tischöffnung, und die Apertur der Beleuchtung hängt tatsächlich nur von der Größe der Gesichtsfeldblende und von der Entfernung des Spiegels ab. Aus praktischen Gründen ist sowohl das Ausmaß der Tischöffnung wie auch der Abstand des Spiegels von dieser Öffnung festgesetzt. Man kann also bei den heutigen Formen der Stativ- die Apertur der Beleuchtung weder durch Vergrößerung der Tischöffnung noch durch Verringerung des Spiegelabstands beeinflussen. Bei diesen festgesetzten Verhältnissen im Stativenbau gelangt aber von einem Planspiegel, selbst wenn seine ganze Fläche ausgeleuchtet ist, nur ein zentraler achsennaher Teil des Beleuchtungskegels zum Objekt, denn die Tischöffnung kann nur diesen Teil des Beleuchtungskegels durchlassen, während der übrige Teil der reflektierten Strahlen von der Tischplatte aufgefangen wird. So groß auch die Lichtquelle bzw. ihr Bild oder die ausgeleuchtete Spiegelfläche sein mag, nur ein geringer Teil der lichtspendenden Fläche wird mit dem Planspiegel zur Beleuchtung nutzbar gemacht, und man erhält also eine recht geringe Apertur der Beleuchtung. Dieselbe Wirkung erhält man, wenn das Spiegelbild (die stellvertretende Lichtquelle) nur so groß ist, als die Tischöffnung Strahlen vom Spiegel aufnehmen kann. Ist jedoch der beleuchtete zentrale Teil des Planspiegels kleiner und entwirft er einen engeren Lichtkegel als die Tischöffnung oder die Gesichtsfeldblende aufnehmen kann, so wird die Apertur der Beleuchtung von der Flachengröße der Lichtquelle abhängig, und die beleuchtete Fläche des Spiegels übernimmt die Funktion der Gesichtsfeldblende. Wie groß die beleuchtete Spiegelfläche ist, hängt von der Größe der Lichtquelle und von ihrer Entfernung ab<sup>1</sup>. Die

<sup>1</sup> Diese Abhängigkeit von der Lichtquelle drückt die Gleichung  $a = \frac{L}{2D}$  aus, wo  $a$  die Apertur der Beleuchtung,  $L$  den Durchmesser der Leuchtfläche und  $D$  die Entfernung der Lichtquelle vom Objekt bedeutet (vgl. P. MEYER [1 S. 100]).

meisten kunstlichen Lichtquellen haben in ihrer heutigen Form und bei der Entfernung, in der man sie auf dem Arbeitstisch aufzustellen pflegt, eine so große leuchtende Fläche, daß man den Planspiegel in dem erforderlichen Maße gut ausleuchten kann. Der Fall also, wo die Spiegelfläche selbst die Apertur der Beleuchtung bestimmt, hat heutzutage mehr eine theoretische Bedeutung.

Sieht man auch von solchen seltenen Fällen ab, so bleibt die Apertur bei einer Beleuchtung mit dem Planspiegel allein stets sehr gering und reicht für stärkere Vergrößerungen nicht mehr aus. Es ist also wünschenswert, die Strahlen aus der Lichtquelle so zusammenzudrängen, daß aus allen Punkten der Lichtquelle Strahlen zum Objekt gelangen. Man erreicht dieses Ziel entweder durch den Hohlspiegel oder durch den Kondensor. Grundsätzlich leisten beide dasselbe: sie entwerfen ein verkleinertes Bild der Lichtquelle, welches durch die Tischöffnung Strahlen aus der ganzen Lichtquelle zum Objekt übermittelt.

**24. Der Hohlspiegel.** Beim Hohlspiegel erhält man von der Lichtquelle oder deren Leuchtfläche ein reelles, umgekehrtes und verkleinertes Bild. Wie bei den Linsen, so ist auch beim Hohlspiegel die Abbildung des Objekts von seinem Orte abhängig. Je mehr sich das Objekt der doppelten Brennweite nähert, um so größer wird sein reelles, verkleinertes Bild. Bei Benutzung des Hohlspiegels ist daher die Entfernung der Lichtquelle vom Spiegel strenger zu berücksichtigen, als das beim Planspiegel der Fall ist. Der Abstand muß so gewählt werden, daß alle vom Spiegelbild in die Tischöffnung entsandten Strahlen von dieser aufgenommen werden und die Öffnung ganz ausfüllen. Bei dem Vorteil, den man dadurch erhält, daß man so die ganze Leuchtfläche in die Tischöffnung einspiegelt, entstehen aber auch verschiedene Nachteile, und zwar hauptsächlich infolge des Astigmatismus des Hohlspiegels.

Die Hohlspiegel reflektieren nämlich das Licht nicht in allen Ebenen gleichmäßig, sondern in der Sagittalebene anders als senkrecht dazu. Das Bild der Lichtquelle wird also verzerrt, und man erhält das eine Mal einen langlich verzerrten, das andere Mal einen in die Breite ausgezogenen Spalt als Bild der Lichtquelle. Die Verzerrung des Bildes wird um so auffälliger, je schiefere die Strahlen auf den Hohlspiegel einfallen. Der Astigmatismus wird wesentlich geringer, wenn die Lichtquelle zum Spiegel genau zentriert ist und die Strahlen möglichst in die Mitte der Spiegelfläche einfallen. Er ist aber stets vorhanden, und das verzerrte Bild der Lichtquelle wirkt auch auf die Beleuchtung des Objekts. Man merkt nämlich beim Heben und Senken des Mikroskoptubus, daß sich Teile des Gesichtsfeldes gegeneinander verschieben. Nur in einer bestimmten Einstellenebene stört der Astigmatismus der Beleuchtung nicht, und zwar dann, wenn das Mikroskop auf die Ebene eingestellt ist, wo das Präparat entweder nur aus der Sagittal- oder nur aus der Tangentialebene zurückgeworfene Strahlen erhält. Besonders bei der subjektiven Beobachtung dickerer Präparate, wo man abwechselnd in die Höhe und in die Tiefe fokussieren muß, stört der Astigmatismus die Beleuchtung erheblich.

**25. Der Kondensor** (vgl. Abb. 94 u. 17). Alle Vorteile einer Beleuchtung mit konzentriertem Licht können ohne die Nachteile des Hohlspiegels erreicht werden, wenn man die Beleuchtungsstrahlen durch die Sammellinsen des Kondensors auf das Objekt entwirft. Im allgemeinen stellen die Kondensoren Linsensysteme dar, welche aus zwei Gliedern, einem Ober- und einem Unterteil, zusammengesetzt sind<sup>1</sup>. Der Unterteil besteht aus einer einfachen Sammellinse von großem Durchmesser und langer Brennweite, der Oberteil aus einer plankonvexen Linse oder aus

<sup>1</sup> Man kann aber auch eine einzige Sammellinse als Kondensor benutzen, z. B. wenn man den Oberteil des aplanatischen Kondensors entfernt und nur mit dem Unterteil beleuchtet.



einem verkitteten achromatischen Linsenpaar als Frontlinse und dabei noch aus einem Meniskus. Der Oberteil hat eine wesentlich kleinere Brennweite als der Unterteil. Das System ist nun so zusammengestellt, daß der Unterteil, die Kollektorlinse, zunächst die vom Spiegel reflektierten Strahlen zum Oberteil ablenkt und dieser letztere sie dann zu Bildpunkten vereinigt (Abb 18). Die Brennweite des ganzen Systems ist 10,5—12 mm, der Brennpunkt und die Strahlenvereinigungsstelle liegt also bei der normalen Stellung des Kondensors

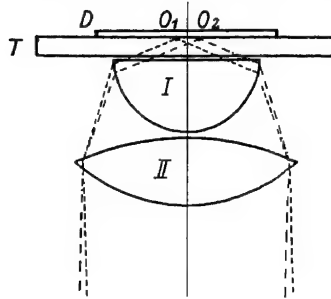


Abb 18 Beleuchtung eines Präparats durch ein Kondensorsystem

eine Mattscheibe), so erhält man am Ort der strengen Strahlenvereinigung das günstigste Licht.

Der Kondensor bedeutet ein Objektiv, d. h. ein abbildendes Linsensystem in größerem Maßstab (Abb 19). Er wird also die Lichtquelle, ähnlich wie sonst die Objektive ein beliebiges Objekt, nach den bekannten geometrisch-optischen Gesetzen

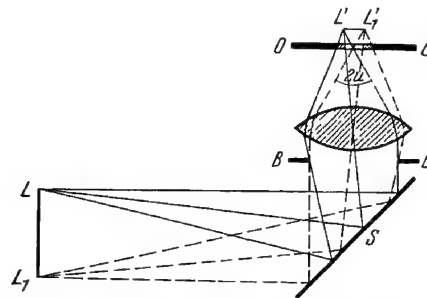


Abb 19 Strahlengang bei einer Beleuchtung mit dem Kondensor

$L, L_1$  = Leuchtfläche,  $S$  = Spiegel,  $B, B$  = Blende,  $O, O$  = Objektschicht,  $L, L_1$  = Abbild der Leuchtfläche (Aus P. MERTNER [4, S. 104])

Brennpunkt und entwirft ebenfalls ein reelles Bild. Falls nun dieses Spiegelbild so in einem bestimmten Abstand vom Brennpunkt des Kondensors, daß die diesem Brennpunktstand konjugierte Bildebene gerade mit der Objektebene zusammenfällt, so erhält man im Mikroskop gleichzeitig das Bild des Objekts und der Lichtquelle. Bei mikrophotographischen Aufnahmen spielt dieser Umstand deshalb eine gewisse Rolle (und zwar nicht nur bei der Anwendung des Hohlspiegels, sondern auch bei Planspiegeln), weil die Bildebene des Kondensors in den Fällen, wo man eine intensiv leuchtende Lichtquelle benutzt, die gleichmäßige Belichtung der photographischen Platte beeinflussen kann. Das vom Kondensor entworfene Bild der Lichtquelle braucht dabei gar nicht

so hoch oberhalb der Tischöffnung, daß die Beleuchtungsstrahlen in nächster Nähe des Objekts vereinigt werden. Die Einstellung des Objekts unmittelbar in der Biennebene des Kondensors ist aber für die Beleuchtung nicht immer günstig. Oft erweist es sich vorteilhafter, das Präparat etwas unter- oder oberhalb der Ebene der Strahlenvereinigung zu stellen, denn der Kondensor liefert ein so reichliches Licht (falls die übrigen Faktoren der Beleuchtung, Lichtquelle und Blendengröße, richtig gewählt sind), daß man auch hier eine vollkommen ausreichende und sogar noch günstigere Beleuchtung erzielen kann. Beleuchtet man aber mit zerstreutem Licht (z. B. durch

Je nach der Entfernung, in welcher die Lichtquelle oder ihr Spiegelbild zum Kondensor steht, erhält man von ihm ein vom Kondensor entworfenes Bild. Beim Planspiegel fällt dieses Bild stets so weit oberhalb der Tischenebene, daß man das Bild der Lichtquelle nur bei sehr stark gesenktem Kondensor in die Tischenebene projizieren kann. Werden jedoch die Lichtstrahlen von einem Hohlspiegel in den Kondensor eingespiegelt, so ist die Möglichkeit leichter gegeben, daß man in der Einstellenebene mit dem Bild des Präparats auch das Bild der Lichtquelle erblickt. Der Hohlspiegel hat, wie wir schon gesehen haben, ebenfalls einen

in die Einstellebene zu fallen. Es genügt, wenn es dieser Einstellebene nahe liegt, dann erhält man schon auf der lichtempfindlichen Schicht dem Bild der Lichtquelle entsprechend eine stärkere Belichtung als anderswo. Bei subjektiver Beobachtung wird der Unterschied in der Beleuchtung vielleicht gar nicht zu bemerken sein, auf der photographischen Platte wird er aber sichtbar.

Es genügt meistens eine geringe Senkung des Kondensors, um Störungen solcher Art zu beheben.

Die Apertur des Lichtkegels, den man mit dem Kondensor auf das Objekt wirft, hängt von drei Faktoren ab, diese sind 1. die Apertur des Kondensors selbst, 2. die Stellung des Kondensors zum Objekt und 3. die Flachengröße der Lichtquelle. Über 1 steigt die Apertur (ähnlich wie bei den Objektiven) nur dann, wenn man zwischen Objekt und Kondensor Wasser, Glycerin, Xylol oder Immersionsöl einschaltet (untere Immersion, s. S. 52). Die maximale Apertur bei ein und demselben Kondensor erhält man in der Ebene der Strahlenvereinigung (Brennebene oder Schnittebene des Kondensors), d. h. einige Millimeter oberhalb der Tischöffnung, wenn der Kondensor bis in die Tischöffnung hinaufgehoben ist. Stellt man ihn niedriger, so wird die Tischebene oberhalb bzw. hinter dieser Ebene liegen, und die Objektebene schneidet nicht mehr den zum Brennpunkt des Kondensors gerichteten Strahlenkegel aus konvergenten Strahlen, sondern den von hier aus sich fortpflanzenden Lichtstrom aus divergenten Strahlen. Je weiter man von der Brennpunktebene des Kondensors diesen Strahlenkegel schneidet, um so größer wird sein Querschnitt, d. h. das beleuchtete Feld des Objekts (Objekt-Leuchtfeld<sup>1</sup>), die Helligkeit der beleuchteten Fläche wird jedoch um so geringer. Einige Millimeter oberhalb (hinter) der Strahlenvereinigungsstelle oder Schnittweite<sup>2</sup> des Kondensors ist der Unterschied in der Helligkeit kaum bemerkbar, die Lichtverteilung im Objekt-Leuchtfeld aber gleichmäßiger.

**26. Die Kondensoren mit Korrektion.** In den meisten Fällen, wo man nicht an der Grenze der Leistungsfähigkeit des Mikroskops arbeitet, kommt man mit den aplanatischen Kondensoren vollkommen aus. Außerlich unterscheiden sie sich wenig von den gewöhnlichen Kondensoren (Abb. 17). Ihr Unterteil besteht jedoch nicht aus einer Linse mit Kugelflächen, sondern aus einer solchen mit einer allgemeineren Rotationsfläche. Dieser Unterteil kann allein schon einen weit entfernten Punkt oder eine kleine Fläche in seiner Brennpunktebene aplanatisch abbilden. Der Oberteil wird erst von einem Meniskus und darauf folgend aus einer überhalbkugligen Frontlinse (mit der planen Fläche dem Objekt zugewendet) gebildet, wobei die Strahlen vom Unterteil aus den aplanatischen Punkten auf die Kugelflächen des Oberteiles einfallen. Die Strahlenvereinigung erfolgt daher aberrationsfrei bei einer hohen Apertur (1,4). Ein besonderer Vorteil dieser Kondensoren besteht darin, daß der Unterteil auch allein eine gute aplanatische Strahlenvereinigung bei geringerer Apertur und größerem Objektfeld liefert. Für mikrophotographische Aufnahmen mit schwachen Vergrößerungen eignet sich die Beleuchtung mit dem Unterteil des aplanatischen Kondensors am besten (s. S. 78).

Der aplanatische Kondensor ist auf den Farbenfehler nicht korrigiert, die Bilder der verschiedenen Farben liegen daher an verschiedenen Stellen. Arbeitet

<sup>1</sup> Die Bezeichnung Objekt-Leuchtfeld oder kurz Leuchtfeld entspricht dem Begriff des Gesichtsfeldes in der allgemeinen geometrischen Optik. Es entsteht durch Projektion der Leuchtläche in die Objektebene. In der mikroskopischen Optik bezeichnet man als Gesichtsfeld oder Sehfeld sein Bild, welches von den Linsenteilen des Mikroskops erzeugt und von der Sehtfeldblende abgegrenzt wird (s. auch S. 54 ff.).

<sup>2</sup> Bei Beleuchtung mit parallelen Lichtstrahlen ist sie mit dem hinteren Brennpunkt Abstand identisch.

man also mit farbigem Licht (Farbenfilter), so muß diesem Umstand durch entsprechendes Heben und Senken des Kondensors Rechnung getragen werden. Meistens sind die Farbenfehler der Beleuchtung kaum bemerkbar. Untersucht man jedoch äußerst feine Strukturen (Diatomeenschalen, Bakterien, Elementarfibrillen und Körnchen der Zelle), so erweist es sich als vorteilhafter, selbst diesen von der chromatischen Abweichung der Beleuchtung abhängigen Lichtverlust zu vermeiden. Man bedient sich dafür des achromatischen Kondensors (Abb 20). Dieser stellt ein mittelstarkes Objektsystem in größerem Maßstabe dar, mit einer langen Brennweite (10,5–12 mm). Die achromatischen Kondensoren bestehen aus verkitteten Linsenpaaren, aus denen ein über-

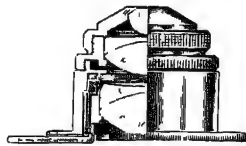


Abb 20 Der achromatische Kondensor (Aus ZEISS-Druckschrift Mikro 400)

korrigierter Oberteil mit der Frontlinse und ein unterkorrigierter Unterteil zusammengestellt wird. Wie bei den Objektiven hebt die Überkorrektion des Oberteils die Unterkorrektion des Unterteils und damit auch die sphärische Aberration im System auf. Wie bei den mittelstarken Trockensystemen bleiben auch hier Reste von Kugelgestaltsfehlern unkompenziert. Die Irisblende befindet sich innerhalb des Kondensors zwischen Ober- und Unterteil. Durch diese

Konstruktion erhält man die gleichmäßigste Beleuchtung des Sehfeldes bei optimaler Helligkeit. Die volle Apertur und die Vorzüge der Korrektion kommen jedoch nur bei Gebrauch einer unteren Immersion zur Geltung. Auch bei den aplanatischen Kondensoren wirkt die untere Immersion recht günstig auf die Beleuchtung, sie ist jedoch nicht unbedingt erforderlich. Bei den achromatischen Kondensoren ist aber die Korrektion für eine homogene (untere) Immersion berechnet, man muß sie also stets mit einer solchen benutzen. Als Immersionsflüssigkeiten kommen auch hier Immersionsöl, Methylbenzoat, Terpeneol oder

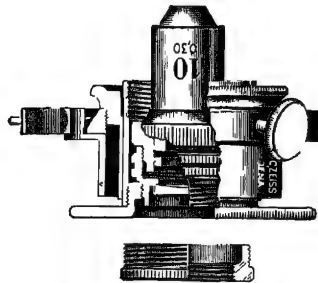


Abb 21 Beleuchtungsobjektiv mit Zentriervorrichtung (Aus ZEISS-Druckschrift Mikro 400)

Xylol in Betracht. Da man zur unteren Immersion viel Immersionsflüssigkeit braucht, um den Kondensor auch tiefer stellen zu können, empfiehlt es sich, eher Xylol, Methylbenzoat oder Terpeneol als das viskose und teure optische Zedernöl zu benutzen.

Eine weitere Form der Kondensoren liefern mittelstarke Objektive (Apochromate), die man an Stelle von aplanatischen und achromatischen Kondensoren mit Vorteil verwenden kann. Es kommen dafür nur Objektive in Betracht, deren Brennweite so groß ist, daß die Beleuchtungsstrahlen trotz der Dicke des Objektträgers in der Objektebene vereinigt werden können. Die Be-

festigung solcher Beleuchtungsobjektive erfordert besondere Einrichtungen, und zwar eine Zentriervorrichtung, mit welcher sie in die Schiebhülse des ABBESchen Apparats eingepaßt werden. Die Zentriervorrichtung (Abb 21) hält das Objektiv an der Stelle des Kondensors mit zwei verstellbaren Schrauben fest, und durch diese Schrauben läßt sich die optische Achse des Kondensors in zwei senkrecht aufeinandergestellten Richtungen verschieben. Die Zentriervorrichtung am ABBESchen Apparat ermöglicht natürlich auch die Zentrierung anderer Kondensoren, falls diese in die Zentriervorrichtung hineinpassen. Das ist z. B. der Fall bei achromatischen Kondensoren (dem zentrierbaren achromatischen Kondensor nach R. ZEISS). Die Zentrierung erfolgt so, daß man zunächst ein Präparat bei schwacher Vergrößerung einstellt und dann die Iris-

blende eng zusammenzieht. Hebt man dann den Tubus, so erscheint in einer bestimmten Entfernung oberhalb des Präparats das vom Mikroskop entworfene Bild der Irisblende in der Austrittspupille des Okulars. Nun kann man diese Öffnung mit den Zentrierschrauben zur Okularblende (Sehfeldblende des Mikroskops) konzentrisch richten und dann wieder das Objektiv auf das Präparat einstellen. Erscheint das Sehfeld noch nicht vollkommen zentrisch beleuchtet, so muß man jetzt die Beleuchtung mit dem Spiegel auf die Mitte des Sehfeldes stellen, keineswegs sind dazu die Zentrierschrauben weiter zu verwenden. Die Zentrierung der Beleuchtung bietet in manchen Fällen große Vorteile, im allgemeinen ist sie jedoch nicht unbedingt erforderlich. Die für die Mikrophotographie in Betracht kommenden großen Stative mit ihren Beleuchtungsapparaten sind genügend ausgerichtet, man braucht daher in den meisten Fällen keine weitere Zentrierung des Kondensors. In früheren Zeiten hat der zentrierbare Kondensor in der Mikrophotographie eine große Rolle gespielt, denn man konnte dadurch die Beleuchtung bei waagerecht gestellten Mikroskopen, wo kein Spiegel vorhanden ist, mit der Zentriervorrichtung genau in die Mitte des Sehfeldes stellen. Heutzutage benutzt man dafür lieber Zentrierlinsen, die außerhalb des Mikroskops auf der optischen Bank aufgestellt sind (s. S. 158), da der Gebrauch des zentrierbaren Kondensors zu umständlich ist. Die Zentrierung ist jedoch unerläßlich, falls man Beleuchtungsobjektive benutzt. Der Hauptvorteil dieser letzteren besteht darin, daß sie eine sehr scharfe Begrenzung des Gesichtsfeldes liefern. Das Sehfeld, das man mit ihnen erzielt, ist dabei gleichmäßig hell und von chromatischen und sphärischen Abweichungen frei. Die Objektive aber, welche sich zu solchen Zwecken eignen, weisen nur eine geringe Apertur auf (etwa bis 0,4). Stellt man Beleuchtungsobjektive mit höherer Apertur ein, so wird zunächst die Dicke des Objektträgers auf die Korrektur des Linsensystems ungünstig einwirken, da dieses für die normale Deckglasdicke berechnet ist. Dadurch fällt auch ein wesentlicher Vorteil solcher Kondensoren im Vergleich zu den aplanatischen fort. Noch wesentlicher ist aber, daß man die Irisblende bei stärkeren Beleuchtungsobjektiven als Aperturblende nicht gut verwenden kann, und zwar gerade bei mikrophotographischen Arbeiten nicht, wo man bei der Beleuchtung eine besondere Leuchtfeldblende (Kollektorblende) benutzt (s. S. 79). Die starken Beleuchtungsobjektive bilden nämlich die Öffnung der Leuchtfeldblende und diejenige der als Aperturblende funktionierenden Irisblende so nahe aneinander ab, daß das Bild der etwas enger zusammengezogenen Irisblende einen Teil des Leuchtfeldes abschatten wird. Arbeitet man mit Objektiven von hoher Apertur, wo man also auch eine hohe Apertur der Beleuchtung anstreben muß, so benutzt man am besten den aplanatischen oder den achromatischen Kondensor. Bei schwachen und mittelstarken Vergrößerungen dagegen, wo das abbildende System eine geringere Apertur hat, liefern die Beleuchtungsobjektive entschieden die günstigste Beleuchtung und sind gerade für mikrophotographische Zwecke geeigneter als der Unterteil eines aplanatischen Kondensors allein, den man falls keine Zentriervorrichtung vorhanden ist, in solchen Fällen sonst zu benutzen pflegt.

**27. Die Irisblende** (Abb. 17). Sie ist unterhalb des Kondensors in seiner vorderen (unteren) Brennebene so eingestellt, daß ihr Bild nicht in der Objektebene erscheinen kann. Sie stellt die Eintrittspupille des Kondensors dar und hat deshalb die doppelte Bedeutung, daß sie die Aperturblende der Beleuchtung und die Gesichtsfeldblende oder die Eintrittsluke der Abbildung ist.

Ohne Kondensor benutzt hat sie meistens nur die Funktion einer Luke. Die Apertur der Beleuchtung ist in solchen Fällen in erster Reihe von der Größe und dem Abstand der Lichtquelle abhängig. Da die Apertur der Beleuchtung

mit einem Planspiegel allein selbst dann sehr gering ist, wenn die Leuchtfläche verhältnismaßig ausgedehnt ist und nahe zum Spiegel steht, so kann die Irisblende auf die Apertur der Beleuchtung nur dann verringern wirken, wenn sie sehr eng zusammengezogen ist<sup>1</sup>. Da die Lage der Irisblende am Stativ veränderlich ist und die Blende mit dem Zahntrieb gesenkt oder gehoben werden kann, ist außer der Öffnung auch ihre Lage für die Apertur von Bedeutung. Je tiefer die Blende unterhalb der Tischöffnung steht, um so stärker wirkt sie bei ein und derselben Öffnung auf die Apertur. Wenn sie bis zum Anschlag gehoben und vollkommen geöffnet ist, hat sie eine größere Öffnung als der Tisch. Diese breitere Öffnung hat keine weitere Bedeutung für die Strahlenbegrenzung, solange man keinen Kondensor benutzt, denn die Größe des beleuchteten Objektfeldes wird hier von der Tischöffnung bestimmt. Man kann die Irisblende in solchen Fällen also sehr stark zusammenziehen, bevor eine engere Begrenzung des Objektfeldes und eine Verringerung der Apertur der Beleuchtung erfolgt. Die Gesichtsfeldbegrenzung, die man unter solchen Umständen mit der Irisblende erzielen kann, ist nicht scharf genug, da die Blende in einer verhältnismaßig großen Entfernung von der Objektebene liegt, und der Rand des Gesichtsfeldes deshalb abgeschattet ist. Eine scharfe Gesichtsfeldbegrenzung kann man bei einer Beleuchtung mit dem Spiegel allein nur mit Scheiben- oder Zylinderblenden erzielen, die man in die Tischöffnung einlegt. Die Irisblende ist eben in erster Reihe dafür bestimmt, mit dem Kondensor zusammen benutzt zu werden.

Bei der Beleuchtung mit einem Kondensor übt die Irisblende auf die Strahlenbegrenzung einen starken Einfluß aus, und schon geringe Änderungen ihrer Öffnung beeinflussen die Apertur der Beleuchtung beträchtlich (Abb. 22). Die Ausmaße des Objekt-Leuchtfeldes, des Sehfelds und der Apertur der Beleuchtung werden jedoch nicht von der Irisblende allein, sondern durch die Zusammenwirkung von 4 Faktorenpaaren bestimmt, diese sind:

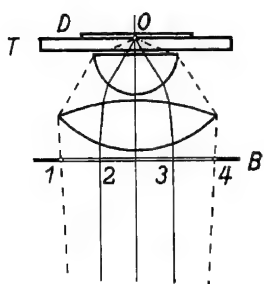


Abb. 22 Der Einfluß der Aperturblende des Kondensors

1 die Größe und die Entfernung der Lichtquelle, 2 die Apertur und Stellung des Kondensors, 3 die Öffnung und Stellung der Irisblende und schließlich 4 die Apertur des Objektivs. Die Verhältnisse sind also wesentlich verwickelter als bei der Beleuchtung ohne Kondensor, dafür bieten sie jedoch auch die Möglichkeit, die Beleuchtung den jeweils gegebenen Vergrößerungen anzupassen.

Bei einer Beleuchtung mit dem Planspiegel allein ist das Objekt-Leuchtfeld so groß und die Apertur der Beleuchtung so klein, daß die Größe des Objekt-Leuchtfeldes auch für Objektive mit sehr großem Sehfeld ausreicht (vgl. auch S. 48), und die Apertur des Beleuchtungskegels von der Eintrittspupille der Objektivlinse vollständig aufgenommen wird. Diese haben nämlich in den meisten Fällen so hohe oder noch höhere Aperturen, als man sie selbst mit dem Hohlspiegel für die Beleuchtung erreichen kann. Mit dem Kondensor erhält man dagegen eine variable Größe des Objekt-Leuchtfeldes und ebenso eine variable Apertur der Beleuchtung, je nachdem, wie weit vom hinteren Brennpunkt des Kondensors das Objekt in den Strahlengang einschneidet. Wir haben gesehen, daß die größte Apertur der Beleuchtung und das kleinste Objekt-Leuchtfeld in der Strahlungsverengungsstelle des Kondensors liegen. Fällt diese Stelle mit der Objektebene zusammen,

<sup>1</sup> Bei einer  $2\frac{1}{2}$  cm breiten und 5 cm hohen Glasgütlampe ist die Apertur der Beleuchtung 0,025–0,05, beim Hohlspiegel etwa 0,34, wenn die Lampe 50 cm entfernt vom Spiegel steht (vgl. METZNER 4, S. 101 u. 102).

so wird nur ein kleiner zentraler Fleck des Präparats beleuchtet, dieser aber mit dem intensivsten Licht, das die Lichtquelle zu entsenden vermag. Bei geringer Senkung des Kondensors wird der zentrale Lichtfleck, den wir als Objekt-Leuchtfeld bezeichnen, etwas größer, ohne daß die Intensität der Beleuchtung merkbar abnehmen würde. Wie groß wird aber das Gesichtsfeld und wie hell die Beleuchtung sein, wenn man das so mit voller Apertur beleuchtete Objekt-Leuchtfeld durch ein schwaches Objektiv betrachtet? Man wird nur in der Mitte des mikroskopischen Sehfelds ein intensiv beleuchtetes Bild sehen, das rings herum von einem breiten dunklen Rand umgeben ist (Abb. 37). Die Randteile sind noch so weit beleuchtet, daß man die Größe des Sehfelds beurteilen kann, welches man mit demselben Objektiv bei einer Beleuchtung ohne Kondensor mit dem Planspiegel voll ausgeleuchtet erhalten würde. Offenkundig sind hier zwei Faktoren der Sehfeldbegrenzung nicht einander angepaßt, nämlich die Größe des Leuchtfeldes und die Öffnung der Sehfeldblende. Das Zwischenbild, welches das schwache Objektiv vom Objekt-Leuchtfeld in der Öffnung der Sehfeldblende entwirft, ist zu klein, um diese ganz auszufüllen. Wurden nur vom Objekt-Leuchtfeld Strahlen ins Mikroskop gelangen, so würde man nur diesen zentralen Teil sehen und den dunklen Randteil des Sehfelds nicht wahrnehmen. Bei der intensiven Beleuchtung des Objekt-Leuchtfeldes mit dem Kondensor strahlt jedoch etwas Licht auch in die Nachbarschaft aus, und dieses diffuse Licht bewirkt, daß man auch die Randteile des eigentlichen Sehfeldes wahrnehmen kann. Um diesem Nachteil abzuhelpen, muß man also den Kondensor senken, bis das Objekt den Beleuchtungskegel so weit schneidet, daß das Objekt-Leuchtfeld, vom Objektiv abgebildet, die ganze Öffnung der Sehfeldblende ausfüllen kann. Eine ähnliche Wirkung, d. h. ein größeres Objekt-Leuchtfeld, erhält man auch so, daß man den Oberteil des Kondensors abschraubt und nur mit dem Unterteil beleuchtet. Das Bild, welches man dadurch erhält, leuchtet keineswegs so hell, wie das frühere kleine Sehfeld, es wirkt jedoch gerade deshalb auf das Auge günstiger. Senkt man den Kondensor noch tiefer, oder entfernt man ihn und benutzt den Planspiegel allein, so wird die Bildhelligkeit wesentlich herabgesetzt, wobei das Bild grober gezeichnet und unruhiger wirken wird. Eine größere Helligkeit erhält das Bild wieder, wenn man mit dem Hohlspiegel beleuchtet, das Bild bleibt jedoch auch weiter unruhig, nicht so gleichmäßig und ausgeglichen, wie man es früher beim etwas gesenkten Kondensor (und Planspiegel) erhalten hatte. Die ausgeglichene, gleichmäßige, für die Beobachtung günstige Helligkeit des Bildes ist die Folge des richtigen Verhältnisses zwischen der Apertur der Beleuchtung und der Abbildung. Stand das Objekt in der Strahlenvereinigungsstelle des Kondensors, so haben die einzelnen Objektpunkte Lichtbündel von großer Apertur (etwa um  $Ap. 1$ ) erhalten. Das schwache Objektiv hat aber eine wesentlich kleinere Apertur,  $\gamma B. 0,2$ . Ein bedeutender Teil des vom Objekt in die Eintrittspupille gesandten Lichtstroms kann daher überhaupt nicht zur Bildzeugung verwendet werden, und die in das Mikroskop gelangten Strahlen werden bei der geringen Stärke der Linse auf ein so kleines Bildfeld konzentriert, daß ihre Wirkung viel stärker in Erscheinung treten wird, als wenn sie sich auf eine dem Vergrößerungsvermögen des Objektivs adäquate Bildfeldgröße verteilen. Ein solches intensives, konzentriertes Licht empfindet das Auge als unruhig oder grell.

Nach den Erfahrungen mit dem schwachen Objektiv ist es nun leicht verständlich, daß bei starken Objektiven die volle Apertur der Beleuchtung oder wenigstens wesentliche Teile davon für die Bilderzeugung ausgenutzt werden können, ohne die Nachteile eines kleinen grell beleuchteten Sehfeldes. Konzentriert man alles Licht auf das Objekt und stellt das Präparat in die Strahlen-

vereinigungsstelle des Kondensors, so erhält man auch hier ein kleines Objekt-Leuchtfeld. Das darauf eingestellte starke Objektiv wird aber dieses Feld dermaßen vergrößern, daß sein Bild als Zwischenbild die ganze Sehfeldblende ausfüllen wird. Die in den Objektpunkten konzentrierte Lichtenergie verteilt sich dann der Vergrößerung gemäß auf ein weites Sehfeld und wirkt günstig auf das Auge, solange die Lichtquelle keine allzu hohe Helligkeit besitzt (wie z. B. das Bogenlampenlicht). Ist jedoch die Beleuchtung genau auf das Objekt konzentriert, so bemerkt man oft selbst bei Objektiven von höchsten Aperturen, daß die Beleuchtung stärker ist als erwünscht. Das Bild, das man in solchen Fällen erhält, erscheint verschleiert, als ob ein feiner Nebel die Zeichnung des Präparats bedecken würde. Dieser Lichtnebel ruht von zerstreutem Licht her, welches von den intensiv leuchtenden Objektpunkten nach allen Richtungen hin ausstrahlt, zum Teil aber von der unteren Deckglasfläche in das Präparat zurückgeworfen wird. Senkt man den Kondensor, damit die Lichtbündel etwas steiler auf die Objektpunkte einfallen, so wird die Apertur der Beleuchtung nur um eine Kleinigkeit geringer, der von der Überstrahlung bedingte Lichtnebel verschwindet aber und das Bild wird gleichmäßig hell und klar.

Wir sehen also, daß beim Gebrauch des Kondensors sowohl das Objekt-Leuchtfeld als auch die Apertur der Beleuchtung allein durch die Stellung des Kondensors geregelt werden können. Daß dabei auch die Flachengröße und die Stellung der Lichtquelle mitspielen, ist aus früheren Erörterungen (s. S. 48) schon bekannt. Die Apertur läßt sich dann durch die Irisblende noch feiner regeln. Bei schwachen Vergrößerungen, wo der Kondensor tief unterhalb des Objekts steht, hat das Schließen der Irisblende nur eine geringe Wirkung, solange man sie nicht sehr stark einengt, denn die Apertur der Beleuchtung ist an und für sich schon sehr gering. Auch bei starken Vergrößerungen wirkt das Schließen der Irisblende nur nach einem bestimmten Grad der Einengung auf die erforderliche Beleuchtung. Wie groß die Blendenöffnung sein muß, damit sie einen merkbaren Einfluß auf die erforderliche Beleuchtung ausübe, hängt einerseits vom Abstand der Blende zum Objekt, andererseits von der Apertur des benutzten Objektivs ab. Bei dem Trockensystem ZEISS 40fach, Ap. 0,65, kann z. B. bei ganz gehobenem Kondensor die Blendenöffnung bis zum Teilstrich 5 (an der Einteilung der Blendenfassung) zusammengezogen werden, ohne daß man eine Verengung der Beleuchtungsapertur im Bild bemerken würde. Bis zu dieser Mittelstellung wirkt also bei dem erwähnten Objektiv die Blende als Gesichtsfeldblende. Senkt man aber den Beleuchtungsapparat, so wird bei derselben Blendenöffnung die Apertur verringert, teils durch die Senkung des Kondensors, teils aber auch durch den größeren Abstand der Blendenöffnung vom Objekt. Ebenso wirkt das Zusammenziehen der Blendenöffnung bis zum Teilstrich 5 — was bei einem Objektiv mit der Apertur 0,65 noch unwirksam war — verringend auf die Apertur der Beleuchtung, sobald man Objektive von höheren Aperturen (z. B. 0,95 oder 1,3 usw.) benutzt.

Die speziellen Kondensoren zur Dunkelfeldbeleuchtung werden im Zusammenhang mit den Dunkelfeldaufnahmen auf S. 202 geschildert.

## Die mikrophotographischen Apparate.

### VII. Die kleinen Vertikalkammern.

Zur Einführung in die Handhabung mikrophotographischer Apparate eignen sich am besten die einfachen Einrichtungen, wie man solche bei den kleinen Vertikalkammern vorfindet. Unter den kleinen Vertikalkammern wählen wir wiederum als Beispiel den in jüngster Zeit von B. ROMEIS angegebenen

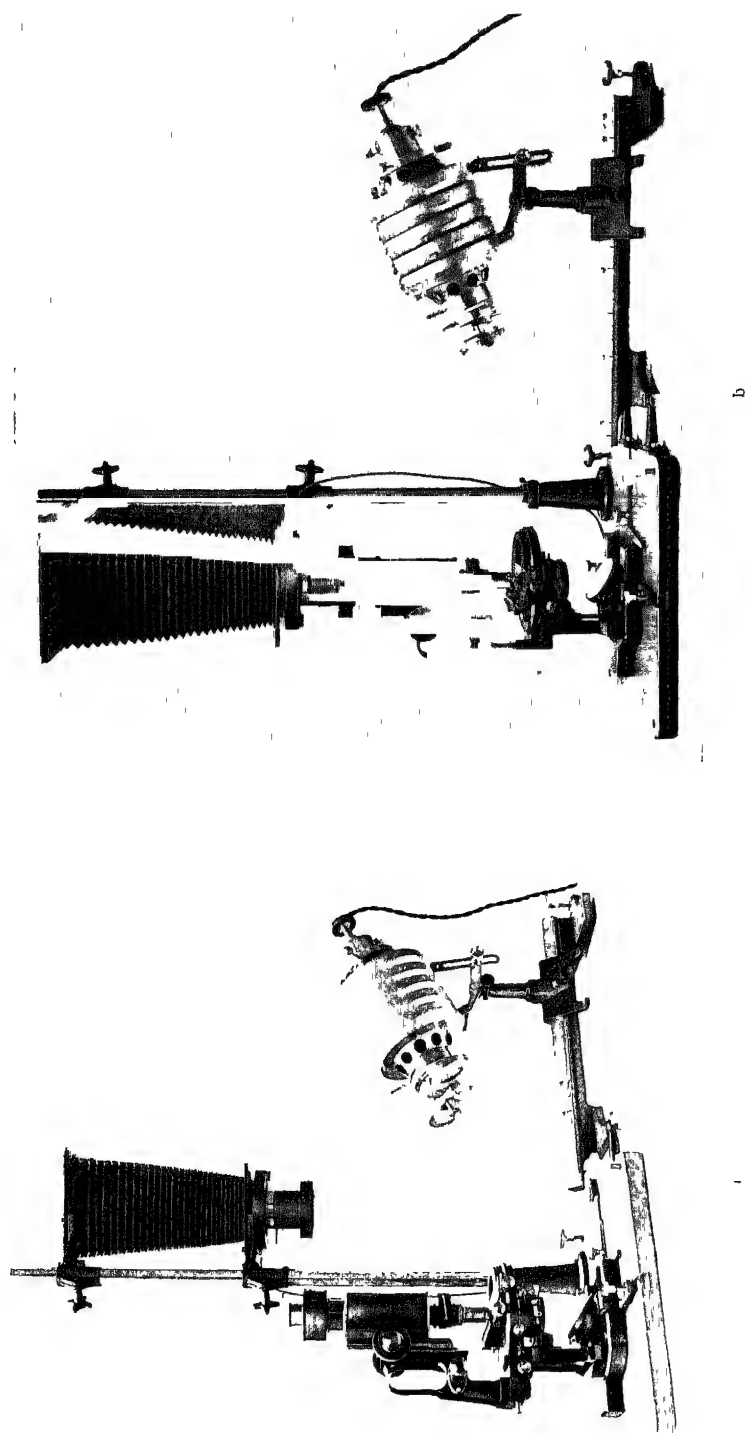


Abb. 2. Kleine Vertikalkammern der Firma C. REICHERT nach ROMELS a in Beobachtungsstellung, b in Aufnahmestellung (Aus B. ROMELS [7, Abb. 111, S. 414])



und von der Firma C REICHERT, angefertigten Apparat deshalb, weil dieser alle Errungenschaften früherer Konstruktionen (kleiner mikrophotographischer Apparat der Firma WINKEL, Vertikalkamera der Firma ZEISS nach HEGENER [Abb 24], Vertikalkamera der Firmen E LEITZ, BUSCH, und ähnliche) in einer zeitgemäßen praktischen und den verschiedenen Forderungen recht anpassungsfähigen Form vereinigt. Die Gesichtspunkte, welche bei der Konstruktion maßgebend waren und die schlechthin auch für jede mikrophotographische Arbeit gültig sind, faßt ROMEIS (I, S 412) in folgenden Sätzen zusammen „1 Die einmal

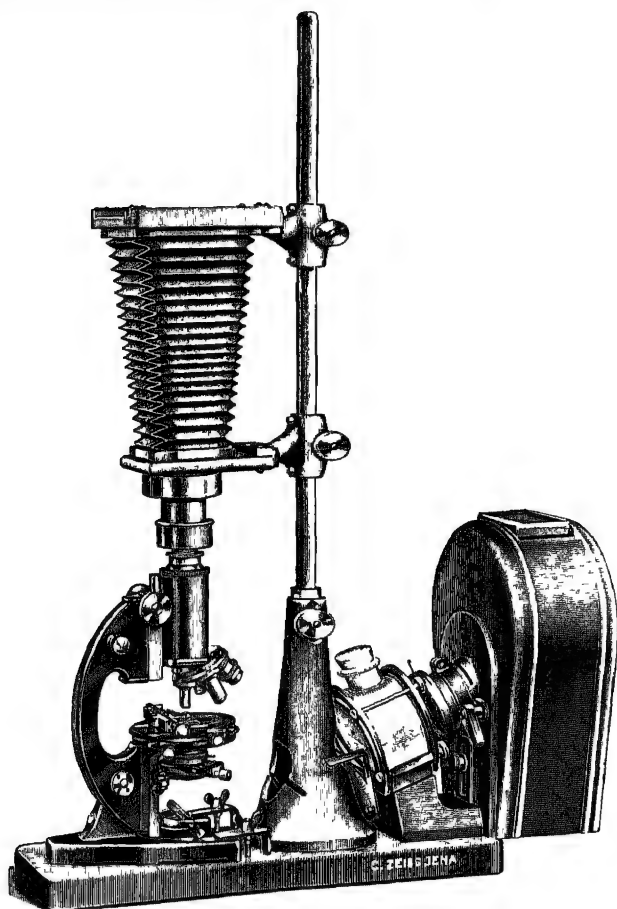


Abb 24 Vertikalkamera nach HEGENER

ermittelten richtigen Aufnahmebedingungen müssen sich ohne Schwierigkeiten immer wieder herstellen lassen. Alle Entfernungen, Blendendurchmesser usw. müssen genau ablesbar sein. 2 Die Herstellung einer Aufnahme darf nicht viel Zeit kosten. Der Übergang von Beobachtung zur Aufnahme und umgekehrt muß ohne Zeitverlust möglich sein. Die Aufnahme muß also ohne Austausch von Mikroskop oder Lichtquelle und ohne Veränderung des Präparats erfolgen können. 3 Der Apparat muß in gleicher Weise die Aufnahmemöglichkeit bei schwächster wie bei starker Vergrößerung gewähren. 4 Der Apparat muß für jedes gute Mikroskopmodell verwendbar sein, er darf nicht viel Raum beanspruchen, so daß er sich auf jedem Arbeitstisch leicht unterbringen läßt. Endlich darf er nicht kostspielig sein.

28 Die Grundplatte. Der nach diesen Grundsätzen aufgebaute Apparat (Abb 23) besteht, wie auch sonst die meisten Vertikalkammern, aus drei Hauptteilen, die sind 1 die Grundplatte, 2 die Aufnahmekamera mit einem mechanischen Gestell und 3 die Beleuchtungseinrichtung. Die Grundplatte, welche die erschütterungsfreie, streng senkrechte Aufstellung des Mikroskops und seine Fixierung in der optischen Achse des Apparats gewährt, ist eine gußeiserne rechtwinklige Platte, welche mit vier Stellschrauben in die horizontale Lage genau einnivelliert werden kann. Auf dieser Grundplatte stehen in starrer Verbindung miteinander das Mikroskop, welches mit zwei Klemmbügeln festgeklemmt wird, dann die Aufnahmekamera auf einer Laufstange, die in einer

medrigen Saule auf die Grundplatte aufgestellt ist, und die kurze optische Bank für die Beleuchtungseinrichtung. Die richtige Stellung des Mikroskopstativs auf der Grundplatte ist durch eine Anschlagseiste angezeigt. Das Fußstück des Stativs muß genau dieser Anschlagseiste glatt anliegen, dann fallen die optischen Achsen des Mikroskops und der über ihm befindlichen Kamera genau zusammen. Beim Apparat von ROMEIS sind sowohl die Klemmbügel als auch die Anschlagseiste verstellbar. Man kann also verschiedene Typen der Mikroskopstative unter die Kamera stellen.

Links vorne befindet sich die Saule, in welcher die Laufstange der Kamera mit einer Klemmschraube befestigt ist. Lost man die Klemmschraube, so kann man die Laufstange und die darauf befindliche Kamera um  $180^\circ$  drehen, d. h. aus der optischen Achse des Mikroskops nach vorne schwenken, was beim Aufsuchen und bei der Einstellung der zur Aufnahme geeigneten Stellen sehr vorteilhaft ist. An der Laufstange wird die Aufnahmekamera von zwei Gleithulsen getragen, von denen die untere mit dem Vorderrahmen, die obere mit dem Hinterrahmen der Kamera fest verbunden ist. Beide Gleithulsen sind mit Keilstücken in die Nute der Laufstange eingepaßt, so daß sie in der Längsrichtung glatt verschoben, seitlich aber nicht gedreht werden können. Durch entsprechende Klemmschrauben werden sie in jeder gewünschten Höhe festgehalten. Die Stellung der Gleithulsen ist an einer Zentimeter-einteilung der Laufstange ablesbar, und die so erhaltenen Zahlen ergeben das Maß des Kammerauszuges. Millimeter-einteilungen (Nonnuseinstellung) an jeder Gleithülse gestatten noch eine genauere Ablesung des Kammerauszuges (Abb. 25).

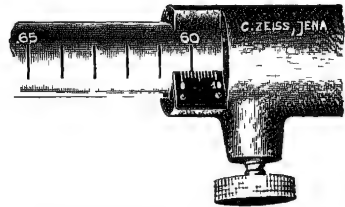


Abb. 25. Teilung der Laufstange  
(Aus ZEISS-Druckschrift Mikros. 401)

**29. Die Kamera.** Als Kamera wird eine kleinere Balgkamera für das Plattenformat  $9 \times 12$  gewählt. Ihr Lederbalg ist auf 50–60 cm ausziehbar und leicht konisch gestaltet. Der Hinterrahmen ist aus Metall für Auflegekassetten angefertigt. Eine gut federnde Sperrvorrichtung mit Greifen sorgt für das rasche Wechseln von Mattscheibe und Kassette wie auch für das Festhalten der Kassette in der Mattscheibenebene. Die Kassetten sind leichte Metallkassetten für das Format  $9 \times 12$ , mit entsprechenden Einlagen können natürlich auch kleinere Plattenformen benutzt werden.

**30. Die Kassetten.** Bei anderen Apparaten begegnet man oft Aufnahmekammern mit Schiebekassetten aus Holz. Die metallenen Auflegekassetten haben gegenüber solchen Schiebekassetten mancherlei Vorteile, da sie 1. leichter sind, 2. sich rascher und glatter auswechseln lassen, 3. billiger sind und daher in größerer Anzahl vorrätig gehalten werden können. Es ist jedoch genau darauf zu achten, daß die Sperrvorrichtung, welche sie in der Mattscheibenebene festhält, vollkommen sicher und verläßlich sei. Solange die Federn stark genug sind, um die aufgelegte Kassette genau in einer und derselben optischen Ebene fest zu halten, bewahren sich die Auflegekassetten besser als die Schiebekassetten. Werden aber mit der Zeit die Federn der Sperrvorrichtung locker — was leider bei billigeren Apparaten öfters vorzukommen pflegt —, so kommen in der Lage der photographischen Platte Unterschiede entstehen, welche trotz sorgfältigster Einstellung jede scharfe Aufnahme vereiteln. Auf diese Fehlerquelle werden wir auch bei den Aufsatzkammern, die ebenfalls Auflegekassetten haben, noch zurückkommen (s. S. 173). Schon hier sei hervorgehoben, daß bei den mikrophotographischen Aufnahmen, wo schon ganz geringe Abweichungen von der Ebene der scharfen Einstellung (Mattscheibenebene) auf die Bildscharfe höchst

ungünstig einwirken, der einwandfreie Zustand der Sperrvorrichtung stets die Vorbedingung für die Verwendung von Auflagekassetten ist. Bei sauber gearbeiteten Kammern mit holzernen Schiebekassetten (z. B. der HEGENERSchen Kamera der Firma ZEISS) ist die genaue Einstellung der photographischen Platte in der Ebene der scharfen Abbildung in jedem Fall besser gesichert. Nur ist das Wechseln der Kassetten bzw. der Mattscheibe etwas umständlicher und nicht immer einschütterungsfrei.

**31. Der Verschuß.** Der Vorderrahmen oder das Frontstück (Stirnblech) der Aufnahmekammer ist beim ROMEISschen Apparat mit einem Sektorenverschuß für Zeit- und Momentaufnahmen ausgerüstet, der durch einen Drahtauslöser betätigt wird. Andere Apparate werden oft mit Kammern ausgerüstet, welche keine Verschußvorrichtung haben, bei diesen kann eine solche — und zwar meistens ein Kompurverschuß — auf der optischen Bank zwischen Lichtquelle und Mikroskop aufgestellt werden. Ein feinmechanischer Verschuß ist bei mikrophotographischen Aufnahmen hauptsächlich für die Momentaufnahmen erforderlich. Bei Zeitaufnahmen genügt es, wenn man mit einem Stück schwarzer Pappe und ähnlichem das Objekt vor und nach der Belichtung abschirmt. Die Belichtungszeit läßt sich jedoch genauer bemessen, wenn man mit der Stoppuhr in der Hand einen mechanischen Verschuß betätigt. Dabei sei bemerkt, daß die Drahtauslöser nicht immer verläßlich sind, besonders wenn sie schon öfters gebraucht wurden. Vor jeder mikrophotographischen Arbeit sind deshalb Verschuß und Drahtauslöser auf ihre Verläßlichkeit zu prüfen.

**32. Lichtschutzmanschette.** Beim Apparat von ROMEIS sitzt vor dem Verschuß ein mit einem Schneckengang ausgestattetes Verbindungsstück, welches zur lichtdichten Verbindung mit dem Mikroskop dient. Dem Tubus ist nämlich eine Lichtschutzmanschette aus einer doppelwandigen Messinghülse aufgesetzt in der Form, wie Abb. 23 zeigt. Das Rohr des Verbindungsstücks greift genau in diese ein, wenn man es bei Betätigung des Hebels im Schneckengang heruntersenkt. Auch bei anderen Kameras erfolgt die lichtdichte Verbindung mit dem Mikroskop in ähnlicher Weise (vgl. Abb. 24), nur wird das Rohrstück nicht in einem Schneckengang, sondern mit dem ganzen Vorderteil der Kamera heruntergesenkt bzw. nach oben gehoben.

## VIII. Die künstlichen Lichtquellen.

(Vgl. dieses Handbuch Bd. IV, Beiträge von H. LUX und F. FÖRSTLICH u. J. J. J. Bd. III, Beitrag von A. COEHN u. G. JUNG.)

Bei dem geschilderten kleinen Vertikalapparat besteht die Beleuchtungseinrichtung allein aus einer Punktlichtlampe (OSRAM), deren Gehäuse nach den Angaben von ROMEIS mit einem Kollektor, einer Kollektorblende und außerdem noch mit einem Ansatzstück ausgerüstet ist, welches zwei ausklappbare Filterscheiben und zwei Vorsatzlinsen trägt (Abb. 25). Im Gehäuse befindet sich eine Wolfiambogenlampe (OSRAM-Punktlichtlampe) für Gleichstrom (Type 2 G, 2 Amp.), zu der ein Vorschaltwiderstand gehört (bei 110 Volt 2,7 Amp. 26 Ohm, bei 220 Volt 2,2 Amp. 82 Ohm). Ebenso und mit dem gleichen Widerstand kann man auch eine Wolfiambogenlampe für Wechselstrom (Type 2 W) einschalten.

**33. Die Punktlichtlampen** (Abb. 26 und Tabelle 9). Die Punktlichtlampen gehören zu den geeignetsten Lichtquellen, und zwar sowohl für die subjektive mikroskopische Beobachtung als auch für die mikrophotographische Aufnahme. Ihre leichte und saubere Handhabung, die Möglichkeit, sie in geeigneten Gehäusen auf einem verhältnismäßig kleinen Raum unterzubringen, bietet mannigfaltige Vorteile.

allen früheren künstlichen Lichtquellen gegenüber. Sie spenden dabei ein intensives Licht, welches, von speziellen Fällen abgesehen, selbst für Momentaufnahmen reichlich genügt. Die Helligkeit der Gleichstromlampe Type 2 G ist

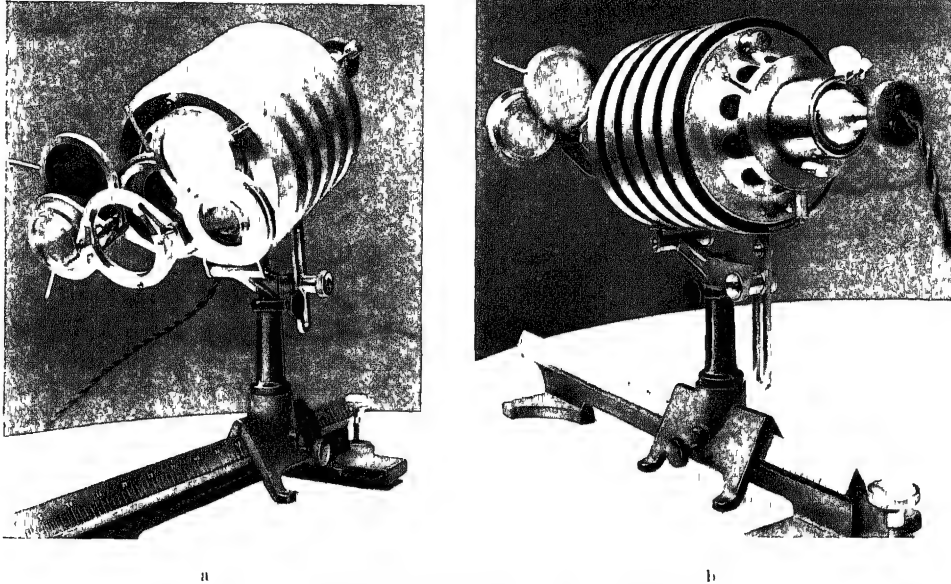


Abb 26 Universal Mikroskopierlampe „Lux 5“ nach ROMEIS

a das Gehäuse von vorne mit dem Linsen- und Filtergestänge, b das Gehäuse von rückwärts mit den Zentrierschrauben und dem Faserknopf (Aus B. ROMEIS [1, Abb 113, S. 416])

an der Anode 150 HEFNER-Keizen (HK), die der Wechselstromlampe Type 2 W, wo beide Elektroden leuchten, je 100 HK. Das Licht der Lampe ist vollkommen ruhig und gleichmäßig von etwas gelblicher Färbung<sup>1</sup>. Der Lichtstrom enthält reichlich aktinische Strahlen, aber nur sehr wenig Wärmestrahlen. Obwohl die Lampe beim Glühen viel Wärme entwickelt, wodurch die Glasbirne und das Gehäuse mit der Zeit sehr heiß werden, gelangt auf den Spiegel bzw. zum Objekt nur kaltes Licht, so daß man ohne Kuhlkuvette gut auskommen kann. Bei etwas gesenktem Kondensor (s. S. 56) ist die Temperatur in der Objektebene nur 2–3° höher als die Zimmertemperatur. Für die subjektive Beobachtung ist das volle Licht der Lampe viel zu grell. Das Lampengehäuse ist deshalb so gebaut, daß man hintereinander mehrere Matt- oder Kobaltglasscheiben einschalten und die Helligkeit der Beleuchtung je nach der Art der Untersuchung bzw. der Vergrößerung regeln kann.

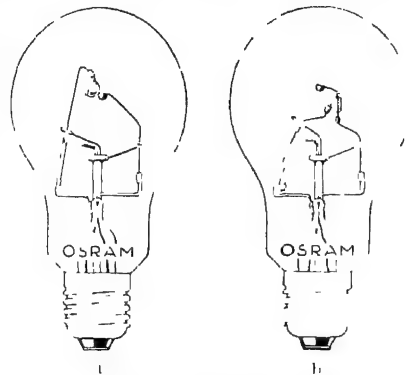


Abb 27 Punktlicht-Lampen  
a Gleichstrom-, b Wechselstrom-Lampe  
(Aus Ostum-Liste 19)

<sup>1</sup> Neu eingeschaltete Lampen spenden ein fast farbloses Licht, das nach öfterer Benutzung der Lampe gelblich wird.

Tabelle 9  
Daten der OSRAM-Punktlichtlampen und Vorschaltwiderstände  
(Aus SCHEMINZKY u. SCHEMINZKY [2])

Bezeichnung der Lampe	Stromverbrauch Amp	Stromart	Lichtstarke bezogen auf 1 Elektrode HK	Maße			Vorschaltwiderstand				Anmerkung
				Anodendurchmesser mm	Glaskolbendurchmesser mm	Länge der Lampe mm	110 V		220 V		
							belastbar bis Amp	Ohm	belastbar bis Amp	Ohm	
2 G	2	Gleichstrom	150	3,4	70	135	2,2	26	2,1	82	für den Widerstand ist ein Gestell nötig
2 W		Wechselstrom	100	2,8							
4 G	4	Gleichstrom	350	5,2	100	170	5	15	5	43	—
4 W		Wechselstrom	200	4							
7,5 G	7,5	Gleichstrom	1000	6,8	120	180	10	7,3	8	21	—
7,5 W		Wechselstrom	450	5,2							

a) Die Gleichstrom-Punktlichtlampen<sup>1</sup> bestehen aus kugelförmigen gasgefüllten Glaskolben, in welchen die halbkugelförmigen Wolframleuchtelektroden luftdicht eingeschlossen sind. Zwischen diesen Elektroden wird bei den erforderlichen hohen Spannungen (110 bzw. 220 Volt) der Lichtbogen erzeugt, welcher durch fliegende Elektronen gebildet, als solcher unsichtbar bleibt. Nur die durch den Elektronenaufprall glühend gewordenen Elektroden (bei Gleichstromlampen nur die Anode) senden Licht aus<sup>2</sup>. Die Gasfüllung, welche bei den Wechselstromlampen aus Argon oder Neon, bei den Gleichstromlampen aus verdünntem Stickstoff besteht, verhindert eine zu rasche Abnutzung der Elektroden durch Zerstaubung. Immerhin ist die Lebensdauer der Lampen begrenzt, und zwar beträgt sie im allgemeinen bei sorgfältiger Behandlung durchschnittlich 200—300 Brennstunden (bei der Type 7,5 G 150 Brennstunden). Wie aus diesen Zahlen ersichtlich, sind die Wolframbogenlampen mindestens so dauerhaft wie andere gasgefüllte Glühbirnen. Die Lebensdauer der Lampe hängt vor allem von der Belastung ab. Langdauerndes Brennen verkürzt die Lebensdauer infolge starker Erwärmung. Man darf also die Lampe nicht stundenlang brennen lassen, sondern nur für die Zeit der Untersuchung bzw. der Aufnahme (im Hochstfall  $\frac{1}{2}$ —1 Stunde). Jede Überlastung der Lampe ist für ihre Lebensdauer schädlich, umgekehrt wird diese bei einer Unterbelastung erhöht. Bei richtiger Einschaltung der den Lampen beigegebenen Normalwiderstände (vgl. Tabelle 9) erzielt man eine konstante, für den normalen Betrieb

<sup>1</sup> Die Eigenschaften der Punktlichtlampe sind in gut übersichtlicher Form geschildert bei FERDINAND SCHEMINZKY und FRIEDERIK SCHLEMINZKY (2), denen die hier angeführten Angaben größtenteils entnommen sind. Vgl. ferner L. LEHMANN (1, 2).

<sup>2</sup> Die bekanntesten Formen der Punktlichtlampen werden von den Firmen EDISON (Pompolitelampen), PHILIPS (Wolframbogenlampen) und OSRAM (Punktlichtlampen) erzeugt. Die Erzeugnisse der verschiedenen Firmen unterscheiden sich hauptsächlich in der Art der Zündung. Die hier gegebene Schilderung bezieht sich auf die OSRAM-Punktlichtlampe.

berechnete Belastung Wie SCHEMINZKY und SCHEMINZKY (2) es empfehlen, erweist es sich noch vorteilhafter, zu diesen Normalwiderständen einen Zusatzwiderstand zu benutzen für die Zeit, während der man mit geringerer Helligkeit auskommen kann (z. B. beim Aufsuchen geeigneter Stellen in dem Präparat und bei der subjektiven Beobachtung überhaupt) Will man dann zur photographischen Aufnahme schreiten, so wird der Zusatzwiderstand in einfacher Weise durch Überbrückung mittels eines Kurzschlußschlüssels außer Betrieb gesetzt Dabei sei betont, daß auch eine zu niedrige Belastung für die Wolfram-bogenlampe schädlich ist, da die Elektroden unterhalb einer bestimmten Spannung in stärkerem Maße zerstauben, was an der Schwarzung der Glaswand erkennbar wird Auch die richtige Aufstellung der Lampe ist für die Lebensdauer von Bedeutung Nach SCHEMINZKY darf die Lampe nicht hangend aufgebracht werden, und auch bei der Neigung des Gehäuses ist zu beachten, daß der Lichtbogen nicht unter dem Lampensockel bzw. tiefer als die Metallstreifen (s. weiter unten) liegen soll

Wie schon erwähnt, werden die Lampen in zwei etwas verschiedenen Ausführungen (Abb. 27), als Gleichstrom- und als Wechselstromlampen, hergestellt, und jede Konstruktion weist derzeit drei Typen auf, welche sich in der Hauptsache in ihrem Stromverbrauch und in der Größe der Glaskolben unterscheiden (Gleichstromlampe 2 G, 4 G, 7,5 G, Wechselstromlampe 2 W, 4 W, 7,5 W, vgl. Tafel 9) Bei den Gleichstromlampen findet man zwei Wolframelektroden, von denen die positive (Anode) mit der EDISON-Fassung verbunden ist Ist kein Strom vorhanden, so berühren sich die Elektroden (Kontaktstellung) Um sie zur Erzeugung des Lichtbogens auseinanderzuziehen, enthalten die Lampen eine besondere Zündvorrichtung

Die eine Elektrode ist nämlich auf einem Bimetallstreifen befestigt, während die andere von einem gewöhnlichen Leitungsdraht besteht Der Bimetallstreifen besteht, wie der Name auch angibt, aus zwei Metallen von verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten, welche von der einen Seite her durch eine stromdurchflossene Heizspule erwärmt werden Schaltet man Strom ein, so wird bei der Kontaktstellung der Elektroden zunächst ein Kurzschlußstrom erzeugt, und die hier erzeugte Wärme zwingt die Elektroden zur Krümmung Durch diese Krümmung wird dann die an dem Bimetallstreifen befestigte Elektrode von der anderen entfernt Da die Wärmeentwicklung innerhalb der Lampe ziemlich konstant ist, bleibt auch der Lichtbogen ohne weitere Regulierung fast vollkommen konstant Beim Ausschalten des Stromes nähern sich die Elektroden erst dann wieder, wenn das Innere der Lampe so weit abgekühlt ist, daß der gekrümmte Bimetallstreifen sich wieder gerade ausgestreckt hat Ist das noch nicht erfolgt und berühren sich also die Elektroden noch nicht, so nutzt das Einschalten des Stromes nichts, allerdings schadet es auch nichts Die wiederholte Zündung der Lampe kostet also unter Umständen längere Zeit, wenn vielleicht der einzige Nachteil der Punktlichtlampe zu erblicken ist Je stärker der Stromverbrauch der Lampe ist, und je länger man sie brennen läßt, um so stärker erwärmt sich der Glaskolben wie auch das ganze Gehäuse Desto länger dauert dann auch die Abkühlung und die neuerliche Zündung Bei einer Gleichstromlampe von der Type 2 G kann man nach einer Berechnung mit Sicherheit erwarten, daß das Gehäuse, das ROMER für seine Lampe entworfen ließ (Abb. 26), hat den großen Vorteil, daß es aus fünf übereinanderliegenden Ringen besteht, was in Verbindung mit den zahlreichen Luftlöchern an der Lampe eine gute und rasche Abkühlung des Innenraumes gestattet Bei den sonstigen Gehäusen empfiehlt es sich, nach Ausschalten der Lampe das Gehäuse mit einem gut ausgewirkten leuchtenden Tuch zu umhüllen, damit die Abkühlung rascher erfolgt Sehr vorteilhaft ist es bei längerer Arbeit, zwei Glühbirnen abwechselnd zu benutzen

Alle derzeit benutzten Gehäuse zu den Punktlichtlampen sind so gebaut, daß man ihre Rückwand mit einem Handgriff leicht abheben und die Lampen auswechseln oder auf ihre Zündung kontrollieren kann Da bei den meisten

Gehäusen vorn eine schwache Kollektorlinse (bei den von ZEISS gelieferten Lampen eine Linse von der Apertur 0,4 und mit der Brennweite 60 mm) eingebaut ist, werden die Gehäuse mit einem Mechanismus ausgerüstet, der die Einstellung der Leuchtelektrode in den richtigen Brennpunkt Abstand der Kollektorlinse ermöglicht. Das Gehäuse ist auf seinem Gestell in allen Hauptachsen des Raumes bewegbar. Man kann das Licht also schon aus freier Hand auf die Spiegelfläche zentrieren. Die Punktlichtlampe der Firma REICHERT nach ROMEIS ist dazu noch mit einer feineren Zentriervorrichtung ausgerüstet, welche eine ganz genaue Ausrichtung des Lichtes gestattet.

Was die Spannungsverhältnisse anbelangt, sei hier bemerkt, daß beim Einschalten der Lampe die volle Spannung des Netzstroms wirksam ist, unabhängig von der Größe des Vorschaltwiderstandes. Die kleinste Spannung, die zum Zünden der Gleichstrom-Punktlichtlampen noch ausreicht, beträgt 100 Volt. Bei früheren Modellen der Wechselstromlampen, wo die Zündung durch Glühlichtentladung erfolgte, war eine weit höhere Spannung, etwa von 170 Volt, erforderlich. Die neueren Wechselstromlampen zünden aber ebenfalls schon bei 100—110 Volt. Nach erfolgter Zündung sinkt die Spannung auf die normale Betriebsspannung der Lampe herab, welche bei den meisten Typen 50—55 Volt beträgt. Erst einige Sekunden nach der Zündung glüht die Anode in ihrer vollen Helligkeit, und auch die konstante Lage der Anode wird erst kurz nach der Zündung erreicht. In den ersten Sekunden, bis der Bimetallstreifen seine maximale Biegung ausgeführt hat, wandert die leuchtende Anode von der Kathode weg, was bei der Ausrichtung der Beleuchtung zu berücksichtigen ist.

Die absolute Lichtstärke ist von der Stromstärke und der Größe der leuchtenden Fläche, in diesem Fall also vom Durchmesser der halbkugelförmigen Anode, abhängig. Bei der Type 2 G, wo der Anodendurchmesser 3,4 mm und die Stromstärke 2 Amp ist, bedeutet die spezifische Flächenhelligkeit der Lampe, in HEFNER-Keizen pro qmm ausgedrückt, 20,0, die absolute Lichtstärke 150 HK. Bei stärkeren Typen mit größeren Elektroden ist sie entsprechend höher (s. Tab. 9). Diese Lichtstärke genügt bei den meisten mikrophotographischen Aufnahmen, ist jedoch für Dunkelfeldaufnahmen bei starken Vergrößerungen etwas schwach. Zu solchen Zwecken eignet sich vor allem die stärkere Punktlichtlampe der Type 4 G oder 7,5 G. Leider sind bei den letzteren die Glühbirnen viel zu groß, als daß sie in das für die 2 G- oder 2 W-Lampen gebaute Gehäuse passen würden, und man muß sie daher auf besonderen Gestellen befestigen.

b) Der Bau der Wechselstromlampen ist grundsätzlich derselbe wie der der Gleichstromlampen. Die Konstruktion wird etwas komplizierter dadurch, daß die Lampe hier drei Elektroden enthält, von denen zwei mit der gleichen Lichtstärke brennen und die dritte als Hilfslektrode die Zündung besorgt (Abb. 27 b). Beim Einschalten des Stromes wird der Lichtbogen zunächst zwischen dieser Hilfslektrode und einer Leuchtelektrode gebildet und springt dann während des Abhebens auf die zweite Leuchtelektrode über. Durch dieses Überspringen des Lichtbogens gestaltet sich der Zündvorgang bei Wechselstromlampen etwas unsicherer als bei Gleichstromlampen. Auch die wiederholte Zündung erfolgt langsamer. Kleben die Elektroden aneinander — was nach längerem Gebrauch oft zu vorzukommen pflegt — so muß man an das Gehäuse oder auf den Glaskolben klopfen, damit die Abhebung erfolgt. Auch in anderen Beziehungen weist die Wechselstromlampe der Gleichstromlampe gegenüber Nachteile auf. Die Lichtstärke verteilt sich auf zwei Flächen, von denen aber nur die eine (die mit dem Bimetallstreifen verbunden und inten-

siver leuchtende) für die Beleuchtung in Betracht kommt. So ist die effektive Lichtstärke der Wechselstromlampe stets geringer als die der Gleichstromlampen, bei denen der ganze Strom für das Leuchten einer einzigen Elektrode benutzt wird. Infolge der doppelten Leuchtflächen muß die Zentrierung des Lichts auf der Spiegelfläche so erfolgen, daß nur die eine leuchtende Elektrode in die optische Achse des Mikroskops fällt. Stehen aber beide Elektroden sehr nahe zueinander im Mittelfeld des Spiegels, so erhält man eine doppelseitige Beleuchtung mit allen Nachteilen einer solchen. Aus diesen Gründen ist es ratsam, möglichst nur Gleichstromlampen zu verwenden.

Tabelle 10 Lichtausbeute bei Wechselstrom- und Gleichstrombogenlampen (Aus FR KOHLER [1, S. 1136])

	10	15	20	30	40	50
	Amp					
Lichtstärke in HK bei Gleichstrom	2600	5000	7500	12300	17000	22000
Lichtstärke in HK bei Wechselstrom	—	1600	2300	4000	5500	7000

Die Zahlen beziehen sich auf eine Elektrode (bei Gleichstrom auf die positive)

Tabelle 11 Durchmesser von Bogenlampenkohlen (Nach P. SCHROTT, aus F. SCHULMINZKY [3, S. 369])

Stromstärke Amp	Durchmesser von Normalkohlen in mm		Durchmesser von GOETZ-Kohlen in mm	
	+ (Docht)	— (Homogen)	+ (Docht)	(Docht)
10	10	8	—	
15	13	12	3	3
20	14	13	4	4
25	16	14	5	5
30	17	14	6	6
40	20	18	7	7
50	24	20	8	8

**34. Die Kohlenbogenlampen** (s. Tabelle 10 u. 11). Erfordert die photographische Aufnahme eine höhere Lichtstärke als 1200 HK, so muß man zur Beleuchtung eine Kohlenbogenlampe benutzen, denn die Höchstleistung, die man mit den Punktlichtlampen erreichen kann, beträgt etwa 1000 HK (s. Tab. 9). Die Kohlenbogenlampen, unsere lichtstärksten künstlichen Lichtquellen, haben eine spezifische Flächenhelligkeit von 130–500 HK für die Flächeneinheit. Auch unter den Kohlenbogenlampen unterscheidet man zwischen Gleichstrom- und Wechselstromlampen. Bei den Gleichstromlampen wird die Leuchtfläche von der Kohle des positiven Pols (der Anode) gebildet. Beim Brennen der Lampe bildet sich hier an der Anode ein Krater von elliptischer Form, welcher das sehr intensive an aktinischen Strahlen reiche Licht ausstrahlt. Die Größe der Leuchtfläche hängt vom Durchmesser der benutzten Kohlen ab. Gewöhnlich gebraucht man Kohlenstifte von 5 mm Durchmesser (Homogenkohlen); in manchen Fällen erweisen sich aber dünnere Kohlenstifte als vorteilhafter. Die zu den Bogenlampen geeigneten Kohlen werden in zwei bzw. drei Arten erzeugt und zwar benutzt man allgemein bei geringeren Stromstärken (4–5 Amp.) die Homogenkohlen, welche aus einer sorgfältig gereinigten, gleichmäßig vorbereiteten Kohlensubstanz bestehen. Für stärkeren Strom eignen sich die sog. Dochtkohlen, die in einer zentralen Bohrung ein Gemisch von Kohle und Salzen enthalten. Dieser Docht dient in der Hauptsache dazu, daß der



Krater der Starkstromlampen in ein und denselben Stellung verbleiben und nicht hin und her wandern soll. Bei sehr hohen Stromstärken (über 15 Amp) benutzt man dann die Mantelkohlen, welche in einer Metallhülse eingefasst sind. Die zwei Kohlen, zwischen denen der Lichtbogen sich bildet, werden in der Mehrzahl der Fälle rechtwinklig zueinander gestellt, es gibt aber auch Konstruktionen, bei denen sie einen spitzen Winkel miteinander bilden. Die Regulierung des Lichtbogens erfolgt am einfachsten, wenn die Anode waagerecht und in der optischen Achse der Kollektorlinse steht. Das Gehäuse zeigt verschiedene Formen und wird in verschiedenen Größen angefertigt. Es enthält die Kohlenbehälter mit ihren Metallhülsen, welche durch einen mehr oder weniger verwickelten Mechanismus einander genähert oder voneinander entfernt werden können. Dann findet man an den Gehäusen einen kürzeren oder längeren Rohraufsatz mit oder ohne Kollektorlinse, der das Licht auf die Spiegelfläche lenkt. Entweder ist das ganze Gehäuse verstellbar wie bei den kleinen Handbogenlampen, wo die Lampen auf einem Fußgestell gehoben, gesenkt und geneigt werden können, oder aber ist der Rohraufsatz neigbar um das Licht nach unten auf den Spiegel zu werfen.

Beim Zünden der Lampe müssen die Kohlen sich zuerst berühren (Kontaktstellung, Kurzschlußstellung). Werden die Kohlen kurz nach Einschalten des Stromes langsam voneinander entfernt, so entsteht dann der Lichtbogen zwischen den Kohlenelektroden. Der Lichtbogen ist bei gut brennender Lampe fast unsichtbar. Ist aber die Kohle nicht ganz homogen, oder wird die Lampe überlastet, so tritt ein sichtbarer Lichtbogen auf, wobei das Licht unruhig und zur Beleuchtung ungeeignet wird. Auch kurz bevor der Lichtbogen abreißt, d. h. bei zu großem Abstand der Kohlen, wird der Lichtbogen auf kurze Zeit leuchtend sichtbar. Bei richtigem Abstand der Kohlen erhält man nur ein intensiv weiß glühende Anode, deren Krater die eigentliche Lichtquelle darstellt (Gleichstromlampen). Hier wird auch die größte Wärme entwickelt (etw.  $3500^{\circ}\text{C}$ ), weshalb die positive Kohle rascher abzubrennen pflegt als die senkrecht dazu gestellte negative Kohle. Diese letzte wird während des Verbrennens mehr oder weniger zugespitzt. Bei Gleichstromlampen glüht sie schwache (bei etwa  $2900^{\circ}\text{C}$ ) und rötlicher als die positive. Während und infolge des Glühens werden die Enden der Kohlen abgenutzt, der Abstand zwischen den Elektroden wird dadurch immer größer, bis schließlich, falls kein Nachschub erfolgt, der Lichtbogen abreißt und das Licht erlischt. Um also ein konstantes Licht zu erhalten, müssen die Kohlen immer wieder einander genähert werden, was entweder aus freier Hand oder mittels eines Uhrwerks geschehen kann. Je nachdem, mit welchem Mechanismus die Regulierung der Kohlen erfolgt, unterscheidet man Handregulierlampen und Uhrwerklampen.

a) Die Handregulierlampen (Abb. 28). Hier werden die Kohlen auf eine Rolle mit einem Zahntrieb oder mit Kettenübertragung bewegt. Kurz nach Einschalten des Stromes müssen sie aus ihrer Kontaktstellung so weit auseinander gezogen werden, daß ein Lichtbogen entstehen kann. Alle 1–2 Minuten werden sie dann wieder nachgestellt, und zwar, bevor sie sich noch allzu stark voneinander entfernt haben. Für kurze Beleuchtungen genügt auch die Zeit von 1–2 Minuten, während die Lampe gleichmäßig brennt. Braucht man aber zum Aufsuchen oder für die Einstellung des Präparats mehr Zeit, so wird die Arbeit mit der Handregulierlampen unbequem. Für subjektive Beobachtungen eignen sich die Handregulierlampen nur bei Dunkelfelduntersuchungen. Da die Handbogenlampen billig sind und vor dem Mikroskop leicht untergebracht werden können, haben sie, seit C. KAISERLING das erste, von der Firma LERTZ ausgeführte Modell angegeben hatte, eine rasche Verbreitung gefunden und sind auch heute

nach die meistbenutzte Form der Kohlenbogenlampen. Man kann tatsächlich recht gut mit ihnen auskommen, falls man zur subjektiven Beobachtung und zur Vorbereitung der Aufnahme nach dem Vorschlag von A. KOHLER (8, S. 1819) eine Hilfslichtquelle parallel schaltet. Als solche Hilfslichtquellen benutzt man am besten eine Glühlampe mit matter Birne. Geht kein Strom durch die Kohlen, so brennt die Glühlampe hell, ist aber ein Lichtbogen zwischen den Kohlen entstanden, so wird das Licht der Glühlampe kaum bemerkbar. Die Handregulierung der Kohlen hat den Vorteil, daß man das Licht vor der Aufnahme stets genau regulieren kann. Die ständige Beschäftigung mit den Kohlen stört jedoch, wie bereits gesagt, bei langer dauernder Arbeit sehr, weshalb in solchen Fällen die Uhrweklampen vorzuziehen sind.

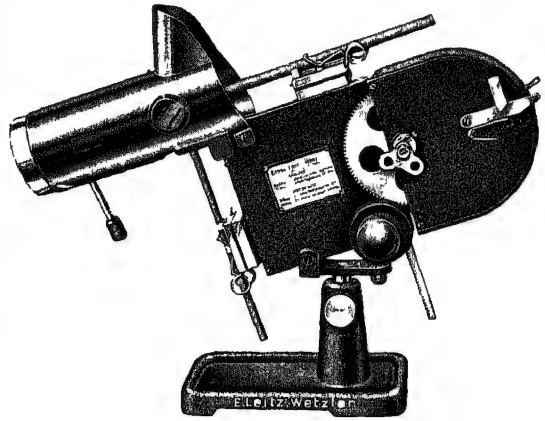


Abb. 28. I. II. III. IV. V. Firma E. LEITZ mit Hand- und Fußpedal (neue Ausstufung)

b) Die Uhrwerkklampen. Unter diesen findet man wiederum zwei verschiedene Typen solche mit einem einfachen Uhrwerk und solche mit Selbstregulierung. Die ersteren werden einfach als Uhrwerkklampen bezeichnet (Abb. 122). Ihr Uhrwerk wird mit einem Schlüssel aufgezogen und durch Lösen der Arretiervorrichtung in Gang gesetzt. Nach Ausschalten des Stroms wird das Uhrwerk wieder arretiert. Der Nachteil der Uhrwerkklampen besteht darin, daß das Tempo des Nachschubs unabhängig vom Abblenden der Kohlen rein vom Uhrwerk abhängt<sup>1</sup>. Die Kohlenstifte sind jedoch nur selten vollkommen gleichartig. So wird es stets vorkommen, daß eine Kohle rascher abbrennt als eine andere, und zwar werden besonders störende Unterschiede auftreten bei der Benutzung verschiedener Kohlenpaare. Für solche Unterschiede ist das Uhrwerk nicht anpassungsfähig genug, so daß man öfters trotz des Uhrwerks die Kohlen doch noch mit der Hand nachregulieren muß. Wo also Kohlenbogenlampen längere Zeit brennen müssen, eignet sich am besten der zweite Typ der Uhrwerkklampen, die selbstregulierenden Kohlenbogenlampen oder die

<sup>1</sup> Bei den Uhrwerkklampen der Firma Zeiss wird die positive Kohle etwa doppelt so rasch nachgeschoben als die negative.

**Uhrwerkklampen mit Regelspannung** (Abb 29) Hier setzt die regulierende Tätigkeit des Uhrwerks erst dann automatisch ein, wenn die Kohlen bis zu einem bestimmten Abstand schon abgenutzt sind und die Spannung zwischen den Elektroden dementsprechend einen Grenzwert erreicht hat. Das Uhrwerk wird nämlich durch einen Elektromagneten gehemmt, der ausgeschaltet wird, sobald die Stromstärke unter einen bestimmten Wert gefallen (die Regelsstromstärke), oder anders ausgedrückt, die Klemmspannung über den Grenzwert (die Regelspannung) gestiegen ist. Tritt dieser Fall während des Brennens der Lampe immer wieder periodisch ein, so wird das Uhrwerk in Bewegung gesetzt, und seine Tätigkeit dauert so lange, bis die Kohlen sich so weit genähert haben, daß die vorschriftsmäßige Stromstärke und Klemmspannung wieder erreicht sind. Je nachdem, ob der Elektromagnet in den Hauptkreis eingeschaltet ist oder für sich einen Nebenkreis bildet, unterscheidet man **Hauptschluß- und Nebenschlußlampen**<sup>1</sup>. Die Regulierung solcher Lampen ist vollkommen verläßlich, solange man die für die Lampen vorgeschriebenen Kohlen bei richtigen Spannungsverhältnissen benutzt. Da jedoch die Regulierung erst dann einsetzt, wenn die Stromstärke und in Zusammenhang damit auch die Helligkeit des Lichtes gesunken sind, bleibt die Beleuchtung trotz des Regulierens nicht ganz gleichmäßig. Vor und während des Regulierens hat man wesentlich ungünstigere Lichtverhältnisse als nach erfolgter Regulierung, weshalb man zur Beleuchtung gerade die Zeitspanne zwischen zwei Regelungen ausnutzen soll.

In welcher Weise auch der Nachschub der Kohlen erfolgt, ist die Güte der Beleuchtung von der Stellung der Kohlen stark abhängig. Hierbei spielt nicht allein der Abstand der Enden eine Rolle, sondern auch die Lage des leuchtenden Kraters. Daß die Helligkeit der Beleuchtung stark abnehmen wird, wenn der Krater an der Anode von der langsamer brennenden negativen Kohle nach und nach verdeckt wird, versteht sich von selbst. Ein ebenso ungünstiges Licht erhält man aber auch dann, wenn die positive Kohle aus irgendeinem Grund (bei unrichtiger Bemessung der Kohlenlänge, bei zu raschem Nachschub der positiven bzw. beschleunigter Abnutzung der negativen Kohle) die negative überragt. Zwischen beiden Kohlenenden muß also bei richtiger Stellung ein nach vorn offener Winkel vorhanden sein. Die Lage der Kohlenenden zueinander wird durch ein Rauchglasfenster am Gehäuse von Zeit zu Zeit kontrolliert.

Beim Gebrauch der Kohlenbogenlampen müssen die Schaltungsverhältnisse, d. h. die Stromstärke, die Spannung und der Widerstand, stets in der für die Lampe vorgeschriebenen Weise eingehalten werden. Bei jeder Art von Gleichstromlampen muß zunächst Sorge dafür getragen werden, daß man in das Stromnetz mit dem richtigen Pol einschaltet (Markierung des negativen Pols an der Steckdose und am Kabel, in zweifelhaften Fällen Feststellung der Pole mit Polreagenspapier). Es ist ferner zu beachten, daß die metallenen Kohlenhülsen in gutem Kontakt mit den Kohlen stehen. Man soll die Kohlen wechseln, bevor sie ganz kurz abgebrannt sind. Beim Wechseln der Kohlen wird der Strom ausgeschaltet (durch Ausziehen des Steckers aus der Steckdose) und die abgebrannte noch heiße Kohle mit einer Zange aus der Hülse entfernt.

c) Die **Starkstromlampen**. Die in der Mikroskopie und Mikrophotographie gebräuchlichen Kohlenbogenlampen sind zum größten Teil **Schwachstromlampen**, die bei den üblichen Netzspannungen von 110 oder 220 Volt 4—5 Amp. Stromstärke erfordern. Nur bei Momentaufnahmen (und mikrokino-matographischen Aufnahmen) ultramikroskopischer Objekte benutzt man

<sup>1</sup> Selbstregulierende Uhrwerkklampen werden von den Firmen WILHELM COSLAR und KORTING & MATTHESEN, Leipzig, in guter Ausführung hergestellt.

**Starkstromlampen mit höheren Ampèrezahlen** Bei solchen Lampen müssen naturlicherweise spezielle Kohlen vorhanden sein und eine Schalttafel, um aus der Netzleitung den erforderlichen Strom entnehmen zu können. Auch beim Gebrauch der Schwachstromlampen ist es vorteilhaft, wenn man die Schaltung der Lampe durch eine Schalttafel führt und die jeweilige Spannung an einem Voltmeter, die Stromstärke an einem Amperemeter kontrolliert. Die Helligkeit des Lichts ist von der Temperatur der glühenden Kohlen, diese aber von der Stromstärke abhängig. Die für die Schwachstromlampen erforderliche Stromstärke von 4—5 Amp. setzt eine Klemmspannung von 45—50 Volt voraus, vorteilhafter ist jedoch eine etwas höhere Spannung von 55—60 Volt, da der Lichtbogen dann konstanter bleibt. Um diese Klemmspannung aus der Netzspannung zu entnehmen, werden die Kohlenbogenlampen mit Vorschaltwiderständen ausgerüstet und stets mit diesen Widerständen an die Netzleitung angeschlossen. Ist die Netzspannung bekannt (110 oder 220 Volt), so läßt sich nach dem OHMSchen Gesetz der nötige Widerstand leicht berechnen. Zunächst rechnet man die Größe der zu vernichtenden Netzspannung aus, dividiert diese durch die erforderliche Stromstärke und erhält dann den Widerstand in Ohm<sup>1</sup>. Während des Brennens wächst die Stromspannung, und dementsprechend sinkt dann (bei gleichbleibendem Widerstand) die Stromstärke. Die Selbstregulierung der Uhrweklampen erfolgt, wie schon geschildert, infolge der Zunahme der Klemmspannung. Auch sonst können Schwankungen in der Stromstärke entstehen, so vor allem bei Änderungen der Netzspannung. Je nach der Belastung des Netzes brennt die Lampe heller oder weniger hell. Wo also die photographische Tätigkeit zu allen Tageszeiten ausgenutzt wird und die Aufnahmen unter den gleichen Bedingungen öfters wiederholt werden müssen, bieten Schieberwiderstände wesentliche Vorteile, da man mit diesen stets die gleiche Spannung und Stromstärke erzielen kann. Bei höherer Stromstärke wandert der Krater der positiven Kohle hin und her. Die Starkstromlampen werden daher mit Dochtkohlen oder mit dünnen Kohlenstiften (4 mm bei 5 Amp., 5 mm bei 10 Amp.) ausgerüstet. Der Krater solcher dünnen Kohlen kann trotz des Wanderns besser zentriert werden, die Kohlenstifte brennen jedoch bei höheren Stromstärken rasch ab. Die Dochtkohlen erhalten den Krater ständig in ein und derselben Lage (vgl. a S. 372).

d) Die Wechselstromlampen. Soweit es nur irgendwie möglich ist, soll man für Kohlenbogenlicht stets Gleichstromlampen verwenden. Bei den Wechselstromlampen leuchten beide Kohlen, da bald die eine, bald die andere die Anode ist. Das Licht ist deshalb nie vollkommen ruhig, und seine Helligkeit ist geringer als bei den Gleichstromlampen (vgl. Tabelle 10). Die geringere Flächenhelle hängt auch damit zusammen, daß der Krater, der jetzt an beiden Kohlenenden gebildet wird, wesentlich kleiner ist als an der positiven Kohle der Gleichstromlampen. Einen größeren Krater und damit eine größere Leuchtfläche erhält man nur dann, wenn man die Lampe stärker belastet und eine dickere negative Kohle wählt. So kann man einen Krater an der positiven Kohle erhalten, der etwa dem entspricht, was man an Gleichstromlampen bei 5 Amp. zu erhalten pflegt. Beim Dickenunterschied der Kohlen — ein für die Wechselstromlampen charakteristisches Merkmal — muß natürlich auch der Nachschub anders erfolgen als bei den Gleichstromlampen. Trotz der gleichen Lichtstärke (über 500 HK), die man bei höheren Stromstärken auch mit den Wechselstromlampen erhalten kann, ist das Licht zu mikrophotographischen Aufnahmen nicht günstig.

<sup>1</sup> Bei einer Netzspannung von 220 Volt ist  $Z = B$  die zu vernichtende Spannung  $220 - 60 = 160$  Volt, der Voltwiderstand muß also  $\frac{160}{5} = 32$  Ohm stark sein.

und zwar teils wegen des schon erwähnten Wechselns der Pole, teils wegen des Wanderns des Kraters. Selbst wenn ein solches Wandern bei Benutzung von Dochkohlen verhindert wird, ist das gespendete Licht nicht vollkommen gleichmäßig, da der Docht eine andere Strahlung hat als die übrigen Teile der Kohle, und weist oft bei der Inhomogenität seiner Substanz dunkle Stellen im Krater auf. Will man aber diese und die weiter noch zu erwähnenden Unbequemlichkeiten der Starkstromlampen vermeiden und benutzt die Wechselstromlampen mit dem für die Gleichstromlampen vorgeschriebenen Schwachstrom, so läßt sich nur eine absolute Lichtstärke von etwa 200 HK erzielen, die man unter weit günstigeren Verhältnissen auch mit einer Punktlichtlampe für Wechselstrom (Type 4 W) erreichen kann.

e) Die Wärmestrahlung und ihre Abschirmung. Starkstromlampen sind schon wegen der starken Wärme un bequem, die sie bei langem Brennen entwickeln. Alle Bestandteile der Lampe und auch der Widerstand werden stark erhitzt, was bei der Handhabung der Lampe recht störend empfunden wird. Der Arbeitsraum, in dem man länger mit Kohlenbogenlampen arbeitet, muß eine gute Lüftung haben, da außer der Aufwärmung die Luft auch noch durch Dämpfe verunreinigt wird, die beim Abbrennen der Kohlen entstehen. Abgesehen von diesen Unbequemlichkeiten schadet die strahlende Wärme des Kohlenbogenlichtes auch den Objekten, namentlich wenn die Kondensorlinse die Strahlen in die Objektebene konzentriert. Benutzt man also Kohlenbogenlicht, so müssen die Wärmestraahlen in jedem Fall durch Kühlkuvetten (Wärmeschutz) zurückgehalten werden. Am besten eignet sich dafür eine 5proz. Lösung von Eisenchlorür (MOHR'schem Salz), die man in großen Flaschen vorrätig halten soll. Erst wenn nach längerem Stehen ein Bodensatz oder Wandbeschlag sich gebildet hat, soll man die überstehende Flüssigkeit in den Glastrog, der als Wärmeschutz dienen soll, womöglich filtriert eingießen. So vermeidet man die Trübung der Eisenchlorürlösung oder die Bildung eines Wandbeschlages in der Kühlkuvette. Bei einer Schichtdicke von 5 cm werden die Wärmestraahlen auch bei längerer Beleuchtung sicher zurückgehalten. Die flüssigen Lichtfilter, die man ebenfalls in Kuvetten zwischen Mikroskop und Lichtquelle aufzustellen pflegt, gewahren selbst in dickeren (5—10 cm) Schichten einen geringeren Schutz gegen die Wärmestraahlen, falls sie schon länger in Zimmertemperatur gestanden haben oder aber die Beleuchtung mit der Kohlenbogenlampe längere Zeit dauert. Beschränkt man aber das Bogenlicht nur auf die Zeit der Belichtung, so kann man einen einwandfreien Wärmeschutz auch mit reinem Wasser herstellen. Es ist dabei ratsam, die Kühlkuvetten knapp vor der Einstellung mit kaltem Wasser zu füllen. Bei einer Schichtdicke von 5—10 cm gewährt solch kaltes Wasser einen ausreichenden Wärmeschutz, auch für Serienaufnahmen, vorausgesetzt, daß zwischen den Aufnahmen die Kohlenbogenlampe nicht brennt.

Einen guten Wärmeschutz erhält man auch mit fließendem Wasser, wofür entsprechende Kuvetten mit Ein- und Ausflußrohr benutzt werden. Neuerdings verwendet man auch feste Filter aus Wärmeschutzglas mit gutem Erfolg (s. a. S. 372).

Die Unterbringung der Flüssigkeiten erfolgt am besten in den zerlegbaren Kuvetten (Porzellanbehältern) der Firma ZEISS, in denen man auch die flüssigen Lichtfilter zu halten pflegt (Abb. 30). Diese Kuvetten haben allen früheren Formen gegenüber den Vorteil, daß man sie auseinandernehmen und die Glaswände bequem putzen kann. Die Flüssigkeitsschicht hat in der Kuvette 5 cm Dicke. Der Wärmeschutz wird stets in nächster Nähe vor der Kollektorlinse bzw. der Lampe aufgestellt. Nach beendeter Arbeit sollen die Flüssigkeiten aus den Kuvetten in ihre Aufbewahrungsflaschen zurückgegossen und die Kuvetten

mit fließendem Wasser ausgespült werden. So hält man die Glaswände der Kuvette immer sauber.

Ohne entsprechenden Wärmeschutz werden bei Kohlenbogenlicht je nach der Art des Präparats verschiedene Uebelstände auftreten. Lebende Objekte sind im allgemeinen sehr empfindlich gegen die Wärmestrahlen. Die meisten Protisten erleiden Schaden schon bei kurzen Belichtungszeiten, und auch die Gewebekulturen vertragen die Belichtung mit Kohlenbogenlicht ohne Wärmeschutz schlecht. Wieweit dabei außer den Wärmestrahlen auch die reichlich vorhandenen chemischen Strahlen schädlich wirken, ist noch wenig geklärt. Bei manchen Protisten, z. B. bei *Amoeba proteus*, bei *Paramecium caud.* und verschiedenen Stentorarten beobachtet man oft das rasche Absterben der Zellen, selbst dann, wenn man vorsichtsmäßig für Wärmeschutz gesorgt hat. Die Schädigung dürfte also in solchen Fällen mit der Wirkung der ultravioletten Strahlen zusammenhängen. Hier empfiehlt sich die Zwischenschaltung einer 2,5 bis 5proz. Chlinsulfatlösung als Filter gegen die ultravioletten Strahlen. Bei Stromstärken über 10 Amp. ist es aber auch hier er-

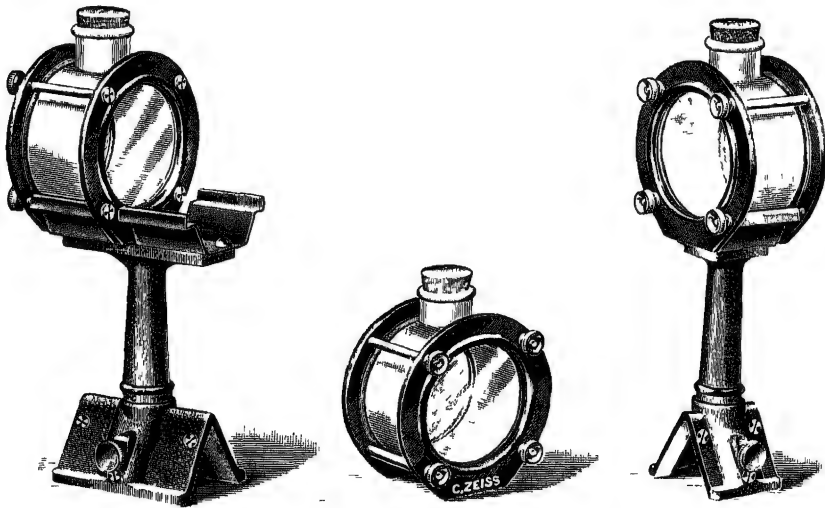


Abb. 30. Porzellanlampe mit Träger und Reflektor.

torderlich einen zweiten Trichter mit Möhrscher Lösung oder ein Wärmeschutzglas in den Strahlengang einzuschalten. Bei fixierten und in Kanadabalsam eingeschlossenen Präparaten kann das Einschlußmittel verflüssigt werden, wobei im Präparat Blasen entstehen und das Objekt unter Schrumpfungsercheinungen zugrunde geht. Diese Schädigungen treten jedoch nur bei längerer Belichtung ohne Wärmeschutz auf. Selbst wenn man für einen ausreichenden Wärmeschutz gesorgt hat, ist es ratsam, bei Hellfeldbeleuchtung das Objekt nicht genau in den Brennpunkt des Kondensors zu stellen und die Leuchtfeldblende etwas zusammenzuziehen, was auch aus anderen Gründen (s. S. 56) schon empfehlenswert ist. Je enger nämlich der Beleuchtungskegel ist, um so geringer ist auch seine Warmwirkung. Bei der Dunkelfeldbeleuchtung, wo ein beträchtlicher Teil des Lichtstroms ausgeblendet ist, ist auch eine Schädigung durch Wärmestrahlen weniger zu befürchten.

Das Licht der Kohlenbogenlampe ist für subjektive Beobachtungen nur bei Dunkelfelduntersuchung geeignet. Sonst ist das nicht abgedampfte Licht für das Auge unerträglich. Ist die Kontrolle des mikroskopischen Bildes erforderlich, so empfiehlt es sich, ein Rauchglasscheibchen dem Okular aufzusetzen. Auch mit einer Kobaltglasscheibe vor der Lampe und einer Mattscheibe unterhalb des Kondensors läßt sich das Kohlenbogenlicht so weit abdampfen, daß man auch subjektiv beobachten kann. Eine solche Beleuchtung wirkt aber bei längerer Dauer ermüdend auf das Auge; auch wird das Bild bei Vorschaltung

mehrerer Mattscheiben so flau, daß man feinere Strukturen nur undeutlich wahrnimmt

Trotz mancherlei Nachteile ist man unbedingt auf Kohlenbogenlicht angewiesen: erstens, wenn man bei starken Vergrößerungen oder bei Dunkelfeldbeleuchtung kurz belichten muß, zweitens aber, wenn die Lichtquelle in einer größeren Entfernung von der Mattscheibe aufgestellt werden muß, wie es bei den großen mikrophotographischen Apparaten mit langer optischer Bank und langem Kameraauszug der Fall ist. Da die Bildhelligkeit mit dem Quadrat der Entfernung und ebenso der Flachengröße des Bildes proportional abnimmt, sind die Gleichstrom-Kohlenbogenlampen auch heute noch die geeignetsten Lichtquellen für die großen mikrophotographischen Apparate. In allen anderen Fällen, vor allem bei der Arbeit mit kleinen Vertikalkammern oder mit den Aufsatzkammern, ist es ratsamer, Glühlampen sich anzuschaffen, entweder in der Form der Punktlichtlampen oder als Projektionsröhrenlampen, Niedervoltlampen und Bandlampen.

**35. Die Projektionsröhrenlampen** sind elektrische Glühlampen von 400 Watt mit einem in „Wendelform“ aufgewundenen Wolframdraht. Ihr Licht ist dementsprechend weit stärker als das der zu subjektiven Beobachtungen vielfach benutzten Halbwattlampen (z. B. der Osram-Nitra-Lampen mit 100 Watt). Sie sind sowohl für Gleichstrom wie für Wechselstrom geeignet, und zwar mit einer Stromstärke von 3,64 Amp. Ist die Spannung im Stromkreis 110 Volt, so braucht man keinen Vorschaltwiderstand ( $\frac{400}{110} = 3,64$ ). Ist aber die Spannung größer, z. B. 220 Volt, so muß man den Überfluß an Spannung in einem Vorschaltwiderstand vernichten. Dazu braucht man bei 220 Volt einen Widerstand von 30 Ohm. Weder bei 110 noch bei 220 Volt darf man aber die Lampe mit voller Belastung brennen lassen, da die Lebensdauer der Lampe dadurch stark verkürzt wird. Die Lampe spendet auch bei etwa 10% Unterbelastung trotz der Abnahme der Lichtstärke um 20% ein so helles Licht, daß man — von speziellen Fällen abgesehen — mit der Beleuchtung gut auskommt. Die Lebensdauer wird aber dabei um 300% zunehmen. Empfehlenswert ist es also, auch die Projektionsröhrenlampen nur in Verbindung mit einem fest einregulierten oder besser noch mit einem Schieberwiderstand in das Netz zu schalten und auch bei 110 Volt Netzspannung etwas von der Spannung abzunehmen.

Das Licht der Projektionsröhrenlampen (400 Watt) ist zu subjektiven Beobachtungen viel zu hell. Beim Aufsuchen und Einstellen des Präparats muß man also Kobaltglas oder Mattglas vorschalten. Der große Horizontalvertikalapparat der Firma C. ZEISS wird mit einer Projektionsröhrenlampe geliefert, die man abwechselnd mit einer geringeren und einer höheren Helligkeit einschalten kann. Erst wird das Präparat bei unterbelasteter Lampe, d. h. bei einem für das Auge angenehmen Licht eingestellt. Dann, zur Einstellung auf die Mattscheibe, dreht man den Schalter um und erhält das volle Licht bei der normalen Belastung der Lampe.

Ein Nachteil der Projektionsröhrenlampen den Punktlichtlampen gegenüber ist darin zu erblicken, daß bei der Form des gewundenen Wolframdrahtes ihre Leuchtfläche geringer ist als bei jenen. Um das Licht der Lampe richtig auszunutzen zu können, muß man Sorge dafür tragen, daß die Ebene der Windungen stets der Öffnung des Gehäuses parallel stehe. Der Glaskolben und das dazu passende Gehäuse sind etwas größer als bei den Punktlichtlampen. Sie lassen sich deshalb am Arbeitstisch vor dem Mikroskop nur schwierig unterbringen. Im übrigen ist jedoch ihre Handhabung einfach, sicher und bequem.

**36. Die Niedervoltlampen.** Diese zu allen Arten der mikroskopischen Beleuchtung sehr geeigneten und in den letzten Jahren allgemein verbreiteten Lichtquellen bestehen in der Hauptsache aus einer sehr dicht aufgewundenen sog. Wendeldrahtlocke, welche beim starken Glühen fast wie eine Leuchtfläche von 2–3 mm Seitenlänge wirkt, mit einer Flächenhelligkeit von 12–22 HK je nach der Belastung. Im allgemeinen verwendet man Glühlampen für 6 Volt und 5 Amp., die auch bei einer Überlastung bis zu 6 Amp. nicht durchbrennen und für eine Glühlampe ein ungemein starkes Licht liefern. Der Durchmesser der mit Gas gefüllten Glühlampen ist bedeutend kleiner als die der Punktlucht- oder der Projektionsrohrlampen, sie haben vielfach die Größe, die man als „Mignon“-Lampe zu bezeichnen pflegt. Dieser Umstand ist zu beachten, wenn man Lampengehäuse mit eingebautem Kollektor für Punktlucht- oder für Halbwattlampen zu den Niedervoltglühlampen anpassen will. Als Beispiel einer bewährten Mikroskoplampe mit Niedervoltglühlampe sei hier die Universal-Lampe „Monla“ der LEITZ-Werke angeführt (Abb. 31). Das sehr handliche Lampengehäuse, senkbar und drehbar auf einem einfachen Stativ untergebracht, ist entweder mit einer im Schneckengang verstellbaren einfachen Beleuchtungslinse (für Mikroskopie) oder mit einer asphärischen Beleuchtungslinse ausgerüstet, die mit Zahn und Trieb genau zur Leuchtfläche eingestellt werden kann. Diese letztere Form eignet sich besonders gut zur Mikrophotographie. Merkwürdigerweise fehlt sowohl hier wie oft auch bei anderen Gehäusen der Niedervoltlampen die Kollektorblende. In dieser Hinsicht ist die Niedervoltlampe der Firma C. REICHERT, Wien, am zweckmäßigsten ausgerüstet, denn diese besteht aus dem früher schon geschilderten Lampengehäuse nach ROMFIS (S. 61), einer Niedervoltglühlampe angepaßt.

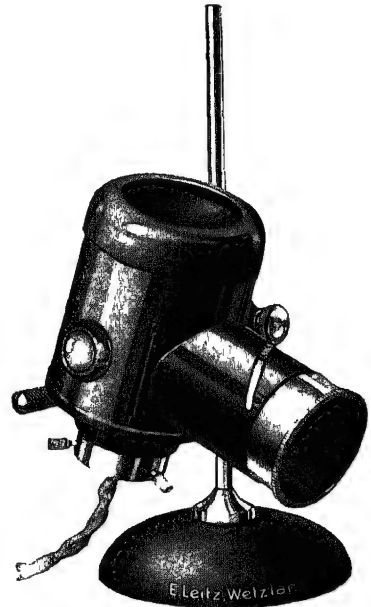


Abb. 31. Die LEITZ Universal-Lampe „Monla“ mit Niedervolt-Glühlampe.  
(Aus Druckschrift „Mikro D. Nr. 2164“.)

Die Niedervoltlampen sind mit Gleich- und Wechselstrom gleichermaßen gut verwendbar, was ebenfalls ein wesentlicher Vorteil ist. Beim Wechselstrom, wo man Spannung und Stromstärke mit einem kleinen Transformator regeln kann, hat man günstigere Bedingungen als beim Gleichstrom, wo man den zur Lampe gelieferten umfangreichen Widerstand benutzen muß. Zumeist kommt man mit einem der Stromspannung angepaßten festen Widerstand gut aus, denn die Lampen haben eine lange Lebensdauer und vertragen mehrere 1000 Brennstunden Belastung auch bei voller Glühstärke. Ein weiterer Vorteil ist, daß sie prompt nach dem Einschalten aufglühen und sehr ruhig und gleichmäßig brennen. Sie eignen sich deshalb zu mikrokymatographischen Zeitrafferaufnahmen von allen Lichtquellen am besten (S. 378).

Neben so vielen Vorteilen haben sie jedoch den Punktlichtlampen und noch mehr den Kohlenlampen gegenüber den Nachteil der geringeren Flächenhelligkeit. Abgesehen aber von Momentaufnahmen bei starken Vergrößerungen oder von Dunkelfeldaufnahmen wird man bei jeglicher Art von mikrophotographischen Aufnahmen mit kleinen Vertikalapparaten oder Aufsatzkammern durch die



Niedervoltlampen eine geeignete Beleuchtung in recht einfacher und bequemer Weise erhalten

**37. Die Bandlampen.** Für Wechselstrom eignen sich auch die den Niedervoltlampen sehr ähnlichen Bandlampen vorzüglich. Sie enthalten in ihrem Glaskolben ein 2 mm breites Band aus Wolfram, dessen mittlerer Teil das intensive helle Licht spendet. Das Brennen der Lampe erfolgt bei einer niedrigen Spannung und einer hohen Stromstärke (17—20 Amp, 6 Volt bei den Lampen von PHILIPS, Eindhoven, und 3 Volt bei denen von OSRAM, Berlin). Um die Lampen dementsprechend einschalten zu können, benutzt man also kleine Transformatoren, die von den Erzeugungsfirmen der Lampen zu beziehen sind. Auch bei den Bandlampen ist es zweckmäßig, einen Schieberwiderstand einzuschalten, um die Belastung der Lampen regeln zu können. Das Licht der Lampe ist außerordentlich hell und gerade für photographische Aufnahmen (selbst für Farbenphotographie) besonders geeignet. Auch sonst zeichnet sich die Lampe durch verschiedene Vorteile aus: sie nimmt wenig Platz in Anspruch, verbraucht wenig Strom und, einmal richtig eingeschaltet, ist ihre Bedienung sehr einfach. Allerdings wird das Band mit der Zeit bruchig und fällt leicht auseinander, wenn die Lampe Erschütterungen ausgesetzt wird. Das tritt dann besonders leicht ein, wenn die Lampe ständig bei voller Belastung brennt. Benutzt man den Vorschaltwiderstand und sorgt dafür, daß außer der Belichtungszeit die Lampe nur unterbelastet brennt, so beträgt die Lebensdauer der Bandlampen ebenfalls einige 100 Stunden.

**38. Seltener vorkommende Lichtquellen.** Außer den hier aufgezählten künstlichen Lichtquellen sind in der Mikrophotographie noch eine Reihe anderer Lichtquellen bekannt (Kalklicht, Zirkonlicht, Azetylenlicht, AULR-Licht usw.), mit denen wir uns jedoch hier nicht eingehender befassen wollen, da sie nur für den Notfall, d. h. dort in Betracht kommen, wo kein elektrisches Licht vorhanden ist. Leider sind die NERNST-Lampen, welche sich in der Mikroskopie und der Mikrophotographie so vorzüglich bewährt haben<sup>1</sup>, nicht mehr erhältlich. Dort, wo aus alten Beständen solche Lampen noch vorhanden sind, werden sie auch heute noch dieselben guten Dienste leisten wie die Punktlichtlampen. In Gegenden, wo kein elektrischer Strom zur Verfügung steht, wie das häufig bei Forschungsreisen der Fall sein dürfte, kann man mit Azetylenlampen gut auskommen, obwohl die Flächenhelle viel geringer ist als bei den elektrischen Lampen. Die Zolostaten und Heliostaten, welche in früheren Zeiten eine wichtige Rolle in der Mikrophotographie gespielt haben, werden heute, wo uns lichtstarke künstliche Lichtquellen in großer Auswahl zur Verfügung stehen, nur noch in optischen Versuchslaboratorien benutzt, wo man öfters das hellste Sonnenlicht zu der Aufnahme braucht.

## IX. Die Ausführung der Aufnahme mit einer kleinen Vertikalkamera.

Die Vorkehrungen, welche man bei einer mikrophotographischen Aufnahme zu treffen hat, sind der Reihe nach die folgenden: 1 die Erzeugung des mikroskopischen Bildes, 2 die Ausleuchtung des Mattscheibenbildes, 3 die scharfe Einstellung auf der Mattscheibe, 4 die Erzielung der erforderlichen Vergrößerung und 5 die Belichtung der photographischen Platte.

**39. Das Ausrichten des Mikroskops.** Angenommen, daß man zur Aufnahme die Vertikalkamera nach ROMERs benutzt, und daß das Mikroskop an der Grundplatte vorschriftsmäßig befestigt ist, richtet man zunächst die Kamera in der optischen Achse des Mikroskops aus. Man setzt dafür die Manschette mit der Unterfläche nach oben gekehrt auf den Tubus, schwenkt die Kamera bis zum Anschlag in die optische Achse, senkt die Vorderwand der Kamera bis

<sup>1</sup> GRELL, A (I)

etwa  $\frac{1}{2}$  cm zum Tubus und klemmt sie in dieser Höhe fest. Nun wird der Rohstutzen im Schneckengang heruntergedreht, bis seine Öffnung mit dem Rande der Lichtabschlußmanschette zusammenfällt. Stehen die zwei Öffnungen genau konzentrisch, so ist die Zentrierung richtig erzielt. Ist aber dieses nicht der Fall, so müssen die Klemmbügel gelockert und das Mikroskop muß so lange verschoben werden, bis die Ränder der Rohrstücke genau zusammenfallen. Dabei muß darauf geachtet werden, daß Fußstück und Anschlag genau in Berührung bleiben. Ist eine Anschlagsleiste vorhanden, so steht das Mikroskop meistens schon zentriert, wenn sein Fußstück in der Anschlagsleiste eingepaßt ist.

Wo die Grundplatte keine Anschlagsleiste hat oder die Aufnahme mit einer improvisierten Vorrichtung erfolgt, zentriert man den Aufnahmeapparat am besten so, daß man das Mikroskop, mit einem schwachen Objektiv ausgerüstet, ohne Okular unter die Kamera stellt, die Kamera bis zum Tubus heruntersenkt und so die ganze Einrichtung durchleuchtet. Man muß auf der Mattscheibe bei gut zentrierter Lage ein kreisrundes beleuchtetes Bildfeld erhalten. Stehen aber Kamera und Mikroskop nicht koaxial, so wird das Bild des Leuchtfeldes vom Rand der Kameraöffnung überschritten. Im letzteren Fall wird also das Mikroskop so lange hin und her geschoben, bis die Austrittspupille des Objektivs bzw. des ganzen Mikroskops in der Mitte der Mattscheibe abgebildet ist. Dann muß das Mikroskopstativ auf irgendwelche Weise in dieser Stellung festgehalten werden.

Nach Ausrichtung der Kammer kann man beim Apparat von ROMERS den Rohstutzen wieder zurückziehen und die Kamera zur Seite schwenken. Bei anderen Apparaten muß die Vorderwand der Kamera gehoben werden, um in das Mikroskop hineinschauen zu können. Die Lichtschutzmanschette wird nun in richtiger Stellung auf den Tubus aufgesetzt, und man schreitet zur nächsten Etappe zum Ausleuchten des Mattscheibenbildes.

**10. Das Leuchtfeldverfahren nach A. KOHLER.** Die mikroskopisch-optischen Grundlagen einer förderlichen Beleuchtung sind auf S. 22 und 46 ff. schon eingehender geschildert worden. Hier sei kurz wiederholt, daß die Beleuchtung bei einer mikrophotographischen Aufnahme entscheidend beeinflusst wird 1. von dem Abstand zwischen Schirmebene und RAMSDENSCHER Kreis (der Austrittspupille des Mikroskops) und 2. von der Belichtungszeit, die womöglich kurz bemessen sein soll. Am besten bewahrt sich zur Beleuchtung des mikrophotographischen Bildes das von A. KOHLER (1) angegebene Leuchtfeldverfahren (1893), welches darin besteht, daß man nicht mit der Lichtquelle selbst, sondern mit ihrem vergrößerten und in die Öffnung des Kondensors projizierten Bild (Leuchtfeld) das Objekt beleuchtet.

a) Der Kollektor. Die vergrößerte Abbildung der Lichtquelle in der unteren (vorderen) Öffnung des Kondensors, die gerade in der Ebene der Irisblende liegt, erfolgt durch die Kollektorlinse, welche entweder in das Gehäuse der Lampe fest eingebaut ist oder aber, wie bei den großen Kohlenbogenlampen und den 400-Watt-Lampen, in einer eigenen Fassung vor der Lichtquelle verstellbar aufgestellt wird. Die Fassung der Kollektorlinse ist mit einer Irisblende, der Kollektorblende, ausgerüstet und noch mit einem Schlitz versehen, um eine Mattscheibe oder Kobaltglasscheibe zwischen Linse und Blende (bei der Punktlichtlampe nach ROMERS vor der Blende) einschalten zu können. Die ganze Einrichtung, d. h. Linse, Blende und Mattscheibe, wird als Kollektor bezeichnet. Je größer die Apertur der Kollektorlinse ist, um so heller wird das Bild der Lichtquelle in der Öffnung des Kondensors erscheinen. Man trachtet also, der Kollektorlinse eine möglichst hohe Apertur zu geben. Dabei muß man jedoch berücksichtigen, daß die Brennweite der Linse derart zu bemessen ist, daß der abzubildende Leuchtkörper, welcher bei den Punktlichtlampen und Projektionsröhrenlampen in einem größeren Glaskolben eingeschlossen ist, in die Nähe des Brennpunkts

falle. Mit der hohen Apertur muß also auch eine ziemlich lange Brennweite verbunden sein. Im allgemeinen benutzt man Kollektorlinsen von der Apertur 0,4 mit einer Brennweite von 10—15 cm. Natürlicherweise ist die Strahlenvereinigung sehr mangelhaft, solange man als Kollektor eine einfache Linse benutzt. Um eine bessere Strahlenvereinigung zu erhalten, pflegt man die Kollektorlinsen mit asphärischen Flächen herzustellen wie die asphärischen Linsen der aplantischen Kondensoren (ZEISS) oder aus einer Sammellinse und einer Zerstreuungslinse zusammenzubauen, welche zueinander verstellbar sind und dadurch eine ausreichende Korrektur der sphärischen Abweichung gestatten (LEITZ). Solche Kollektoren liefern dann ein sehr lichtstarkes und gleichmäßig ausgeleuchtetes Leuchtfeld je nach der Brennweite des Linsensystems von etwa  $1\frac{1}{2}$ —4 mm Durchmesser.

b) Das Leuchtfeld, mit dem die eigentliche Beleuchtung erfolgt, wird folgendermaßen erzeugt. Man stellt zunächst die Lampe mit ihrem Gehäuse in die entsprechende Höhe und richtet sie so, daß das Licht auf die Spiegelfläche fällt. Sehr vorteilhaft ist es dabei, wenn die Zentrierung der Beleuchtung in einem verdunkelten Raum oder bei gedämpfter Zimmerbeleuchtung vorgenommen wird.

Es ist überhaupt ratsam, mit dem mikrophotographischen Apparat in einem nur schwach beleuchteten Raum zu arbeiten, weil alsdann das Bild an der Mattscheibe heller und schärfer erscheint. Vielfach werden die mikrophotographischen Aufnahmen in Dunkelkammern ausgeführt, was jedoch neben manchen Vorteilen auch seine Nachteile hat. Solche Dunkelkammern eignen sich nämlich nur für Aufnahmen fertiger Präparate, bei denen es nichts mehr zu schaffen gibt. Auch bei diesen wird allerdings oft unangenehm empfunden, wenn man sie im selben Raum, wo sie hergestellt und untersucht werden, auch gleich photographieren kann. Sollen aber frisch hergestellte Präparate mikrophotographiert werden, oder erfordert das Objekt gewisse Vorbereitungen zur Aufnahme, so gestaltet sich die Arbeit im verdunkelten Raum sehr unbequem. Das Beste ist also, womöglich bei einer gedämpften Zimmerbeleuchtung zu arbeiten und den mikrophotographischen Apparat an einer Stelle aufzustellen, wo er kein direktes Licht erhält.

Ist die Lampe gut ausgerichtet, so wird an der Spiegelfläche (Planspiegel unter  $45^\circ$  geneigt) oder in der Öffnung des Kondensors (bei zugezogener Irisblende auf dieser) das Bild der Lichtquelle erscheinen (Abb. 32). Die Lage und Scharfe dieses Bildes beurteilt man am zweckmäßigsten an einem Stück weißen Papiers, das man auf die Spiegelfläche legt. Ist das Bild nicht scharf genug, so stellt man entweder die Kondensorlinse näher oder weiter auf der optischen Bank oder aber, wo der Kollektor fest sitzt wie bei den Punktlichtlampen, stellt man den Leuchtkörper mit der am Gehäuse dazu angegebenen Einrichtung in den richtigen Brennpunkt Abstand der Kollektorlinse. Was die Entfernung der Lichtquelle vom Mikroskopspiegel anlangt, so ist im allgemeinen darauf zu achten, daß der kürzeste Abstand eingehalten wird, bei dem zwischen Mikroskop und Lichtquelle die zu der Beleuchtung noch erforderlichen Ausrüstungsgegenstände (Wärmeschutz, Lichtfilter, Zentrierlinsen usw.) bequem unterzubringen sind. Bei Lichtquellen mit geringerer Flächenhelligkeit darf diese Entfernung nur gering sein (bei Punktlichtlampen der Type 2 G z B 30—40 cm), bei stärkeren Lichtquellen, wie den Projektionsstrahlampen und Kohlenbogenlampen, erhält man auch aus einer Entfernung von 1—1,5 m reichliches Licht. In allen Fällen trachte man, die Beleuchtung so zu gestalten, daß man durch Regelung des Kollektorabstandes (§ 8 S. 155) auf der Spiegelfläche das erreichbare hellste und schärfste Bild der Lichtquelle bekommt.

Bei der Abbildung der Lichtquelle auf der Spiegelfläche muß man ohne Mattscheibe arbeiten und die Kollektorblende eng zusammenziehen. Hat man auf diese Weise die Lichtquelle in der Mitte des Spiegels scharf abgebildet, so kann

man die Blende wieder öffnen und die Mattscheibe einschalten. Bei sämtlichen künstlichen Lichtquellen erhält man mit der Mattscheibe ein gleichmäßiger



Abb 32



Abb 33

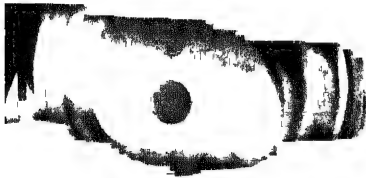


Abb 34

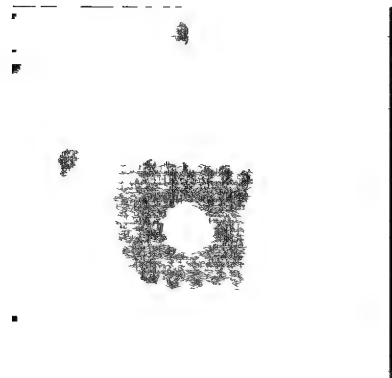


Abb 35

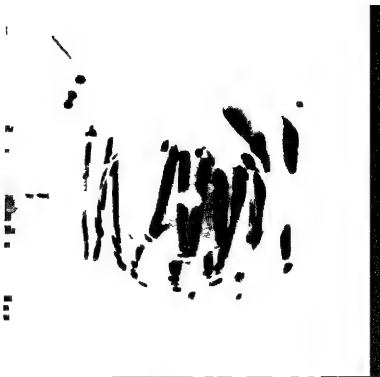


Abb 36

Abb 32—36: Bilder verschiedener Lichtquellen, entworfen von einem Kollektor auf die Erfindung des Ambrüschschen Beleuchtungsapparates. (Aus: HEIM u. SKELL [1, S. 22].)

32: Gleichstrom-Bogenlampe, 33: Punktlicht-Lampe, 34: Nieder-Volt-Lampe 6 V, 1,3 Amp, 35: Nieder-Volt-Lampe 6 V, 2 Amp, 36: Projektions-Natriumlampe.

belichtetes Leuchtfeld, als ohne eine solche. Die Leuchtflächen der Bogen- (Kohlen- und Wolfram-) Lampen wie auch der Bandlampen kommen im großen und ganzen als gleichmäßig hell gelten, und man erhält auch ohne Mattscheibe eine gleichmäßige Beleuchtung, falls die Bildfläche verhältnismäßig klein ist (etwa 40 cm

Durchmesser hat). Auch bei diesen Lampen wird die Beleuchtung ausgedehnter Bildflächen gleichmäßiger, wenn eine Mattscheibe vorgeschaltet ist. Bei Glüh-

fadenlampen, so z. B. bei den Projektionsröhrenlampen, besteht aber die Leuchtfäche aus Windungen eines Glühfadens, dessen Bild eine sehr ungleichmäßige Beleuchtung liefert. Hier muß man also stets eine Mattscheibe vorschalten.

In früheren Abschnitten war wiederholt von den Unterschieden die Rede, die bei verschiedenen Vergrößerungen in der Handhabung des Beleuchtungsapparates zu beachten sind. Bei Aufnahmen mit schwachen (30—300fachen) Vergrößerungen benutzt man also bekannterweise den Kondensor ohne Frontlinse, bei starken und stärksten Vergrößerungen aber den ganzen aplanatischen oder achromatischen Kondensor. Zunächst stellt man das Leuchtfeld mit einem schwachen Objektiv und einem schwachen Okular (z. B. ZEISS-Obj. 8fach, Ok. 5fach) subjektiv ein. Der Kondensor ohne Frontlinse wird dabei so lange gehoben oder gesenkt, bis man eine gute provisorische Beleuchtung erzielt. Dann prüft man genauer, ob das Leuchtfeld völlig ausgerichtet und scharf abgebildet im Sehfeld liegt. Man zieht dazu die Kollektorblende eng zusammen und bildet ihre Öffnung im Sehfeld ab<sup>1</sup>. Jetzt stellt man vorsichtig den Kondensor so ein, daß der Rand der Kollektorblende möglichst scharf erscheinen soll. Ist das geschehen, so hat man die Lichtquelle bzw. das Leuchtfeld in der Objektebene scharf abgebildet. Ofters wird das Bildchen der Kollektorblende, das Leuchtfeld, nicht ganz in der Mitte des Sehfeldes liegen. Es muß also bei entsprechender Stellung des Spiegels genau in die Mitte gebracht werden. Dann öffnet man die Kollektorblende nach und nach so weit, bis ihr Rand hinter dem Rand des Sehfeldes bzw. dem Rand der Okularblende (Sehfeldblende) verschwindet. Jetzt hat man also die Größe des Leuchtfelds bestimmt und das Sehfeld mit zentriertem Licht gleichmäßig beleuchtet. Dabei hat man selbstverständlich bei gedämpftem Licht gearbeitet mit einer unterbelasteten Lampe oder mit vorgeschaltetem Kobaltglasscheibchen. Will man sich aber von der Beleuchtung des Bildfelds auf der Mattscheibe überzeugen, so verbindet man den Tubus mit der Kamera und prüft die Lage und Helligkeit des Leuchtfeldes auf der Mattscheibe. Liegt das runde Bildfeld etwas asymmetrisch, so läßt es sich mit geringen Verstellungen des Spiegels in die Mitte bringen. Liegt jedoch das Bildfeld stark exzentrisch, so sind Kamera und Mikroskop nicht genügend ausgerichtet, man muß also zunächst das Mikroskop oder die Kamera genauer in die gemeinsame optische Achse stellen und dann mit der Zentrierung der Beleuchtung von vorn anfangen.

c) Der Einfluß der Kondensoren. Hat man einen gewöhnlichen Kondensor benutzt, so bemerkt man bald, daß der Rand des Leuchtfeldes selbst bei schwachen Vergrößerungen nicht genügend scharf ist. Erst wenn man die Irisblende eng zusammengezogen hat, erscheint das Leuchtfeld scharf umrandet. Nun wird wiederum die Öffnung der Kollektorblende im Verhältnis zur Irisblende größer sein, als es nötig ist. Der Unterschied ist um so größer, je größer die Apertur des Kondensors und je stärker seine sphärische Aberration ist. Bei schwachen Vergrößerungen werden die Öffnungsfehler des nicht achromatischen Kondensors keine wesentlichen Störungen der Beleuchtung verursachen, da man die Irisblende bei der geringen Apertur der Abbildung ziemlich eng zusammenziehen und dadurch eine genügend scharfe Abbildung des Leuchtfelds erzeugen kann. Sobald man aber zu stärkeren Vergrößerungen übergeht und die volle Apertur des Kondensors ausnutzen muß, erhält man infolge der mangelhaften Korrektur keine scharfe Abbildung des Randes der Kollektor-

<sup>1</sup> Die Scharfe der Abbildung der Lichtquelle durch den Kollektor kann man dabei so prüfen, daß man die Irisblende ausklappt und ein Blatt weißes Papier knapp unter den Kondensor hält (vgl. Abb. 32—36). Mit einem kleinen Spiegel betrachtet man das Bild der Lichtquelle auf dem Papier und, falls es nicht scharf genug ist, verschiebt man den Kondensor bzw. die Lampe.

blende Die scharfe Abgrenzung des Bildfeldes ist jedoch das Zeichen dafür, daß die Beleuchtungsstrahlen aus dem Leuchtfeld ohne wesentliche Verluste und bei richtigem Strahlengang zur Bildebene gelangen Aus diesem Grunde benutzt man in der Regel für mikrophotographische Aufnahmen aplanatische oder achromatische Kondensoren (s. S. 51), und zwar bei schwachen Vergrößerungen ohne — bei stärkeren mit Frontlinse Zu Aufnahmen mit starken und stärksten Apochromaten benutzt man vorteilhaft den achromatischen Kondensor mit einer unteren Immersion

d) Das Verhältnis der Blendenöffnungen Hat man also die entsprechend korrigierten Kondensorsysteme, so weist der Vorgang der Beleuchtung bei stärkeren Vergrößerungen keine wesentlichen Unterschiede gegenüber der Beleuchtung bei schwachen Vergrößerungen auf (Bezüglich der Verwendung der Brillenkondensoren bei schwächsten Vergrößerungen s. S. 194) Allerdings wird beim Übergang von einer schwachen zu einer stärkeren Vergrößerung der Kondensor aus seiner Schiebhülse herausgenommen und nach Aufsetzung der Frontlinse in die Schiebhülse wieder eingesetzt Dabei kann leicht etwas an der Spiegelstellung verändert werden, weshalb die Beleuchtung von neuem geprüft und notigfalls wieder ausgerichtet werden muß Bei stärkeren Vergrößerungen tritt die Rolle der Kollektorblende als Leuchtfeldblende und diejenige der Irisblende als Aperturblende scharfer in Erscheinung Das Zusammenziehen und das Öffnen der Kollektorblende wird nur die Größe des Leuchtfeldes und des ausgeleuchteten Bildfeldes beeinflussen und ohne Einfluß auf die Helligkeit der Beleuchtung bleiben (Abb. 37) Die Änderungen in der Öffnung der Irisblende werden aber die Helligkeit der Beleuchtung beeinflussen, ohne dabei die Größe des Leuchtfeldes bzw. des Bildfeldes zu verändern Das Gelingen einer mikrophotographischen Aufnahme ist weitgehend von dem richtigen Verhältnis dieser zwei wichtigen Blendenöffnungen abhängig Für die Öffnung der Irisblende ist vor allem die Deutlichkeit des Mattscherbenbildes maßgebend Man stellt das Bild bei der erforderlichen Vergrößerung auf der Mattscherbe scharf ein (s. S. 88) und zieht dann die Irisblende so weit zu, bis die Grenzlinien überall d. h. sowohl in der Mitte wie am Rande des Bildes deutlich sichtbar werden Man wird dabei etwas stärker gezeichnete Bilder vorziehen, als man sie für die subjektive Beobachtung zu erzeugen pflegt Man hüte sich jedoch unnötigerweise von der wirksamen Apertur der Beleuchtung zu viel zu opfern und bei einer engeren Irisblende Strukturbilder mit breiten Grenzlinien oder mit Interferenzstreifen hervorzurufen Die feinen Grenzlinien, die bei weitgeöffneten Beleuchtungsregeln aufzutreten pflegen, sind ebenfalls unerwünscht, da dadurch das photographische Bild trotz richtiger Einstellung und voller Beleuchtung kontrastarm

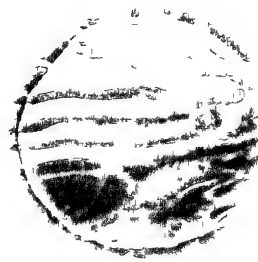


Abb. 37. Die Abbildung der Leuchtfeldblende und des von ihr begrenzten Schildes. Um die ungünstige Wirkung der allzu engen Leuchtfeldblende zu zeigen, war diese bis zum Teilstrich 20 (s. S. 88) eingebracht. Die Aperturblende (Irisblende) des Apochromaten Kondensors war bis zum Teilstrich 20 zugezogen war. Ein ähnliches Bild erhält man, wenn das Objekt-Leuchtfeld im Vergleich zu dem vom Objektiv geleiteten Gesichtsfeld zu gering ist (vgl. S. 55).

bleiben (Abb. 37) Die Änderungen in der Öffnung der Irisblende werden aber die Helligkeit der Beleuchtung beeinflussen, ohne dabei die Größe des Leuchtfeldes bzw. des Bildfeldes zu verändern Das Gelingen einer mikrophotographischen Aufnahme ist weitgehend von dem richtigen Verhältnis dieser zwei wichtigen Blendenöffnungen abhängig Für die Öffnung der Irisblende ist vor allem die Deutlichkeit des Mattscherbenbildes maßgebend Man stellt das Bild bei der erforderlichen Vergrößerung auf der Mattscherbe scharf ein (s. S. 88) und zieht dann die Irisblende so weit zu, bis die Grenzlinien überall d. h. sowohl in der Mitte wie am Rande des Bildes deutlich sichtbar werden Man wird dabei etwas stärker gezeichnete Bilder vorziehen, als man sie für die subjektive Beobachtung zu erzeugen pflegt Man hüte sich jedoch unnötigerweise von der wirksamen Apertur der Beleuchtung zu viel zu opfern und bei einer engeren Irisblende Strukturbilder mit breiten Grenzlinien oder mit Interferenzstreifen hervorzurufen Die feinen Grenzlinien, die bei weitgeöffneten Beleuchtungsregeln aufzutreten pflegen, sind ebenfalls unerwünscht, da dadurch das photographische Bild trotz richtiger Einstellung und voller Beleuchtung kontrastarm

wird. Die Öffnung der Kollektorblende muß jedenfalls der Größe des Sehfeldes angepaßt sein (Abb. 37). Dabei ist zu beachten, daß das Leuchtfeld nicht größer sein darf, als es für die gleichmäßige Beleuchtung des Sehfeldes gerade erforderlich ist (s. S. 78). Die passendste Größe des Leuchtfeldes erhält man, wie schon angegeben, dann, wenn der Rand der Leuchtfeldblende an der Grenze des Sehfeldes gerade verschwindet. Ein etwas größeres Leuchtfeld schadet allerdings nichts. Ist aber das Leuchtfeld im Verhältnis zur Apertur der Beleuchtung oder, mit anderen Worten, die Öffnung der Kollektorblende im Verhältnis zur Innenseite sehr groß, so erhält man durch Überstrahlung ein flaueres Bild. Ungünstiger ist es noch, wenn die Kollektorblende zu eng zusammengezogen ist, wie es manchmal vorkommt, wenn man die Kollektorblende nicht in der geschilderten Weise im Sehfeld selbst regelt oder aber beim Übergang von einer stärkeren Vergrößerung auf eine schwächere die neuerliche Kontrolle versäumt. In solchen Fällen, wo die Öffnung der Leuchtfeldblende im Verhältnis zur Aperturblende eng ist, erhält man nicht nur eine geringere Helligkeit, sondern auch eine ungleichmäßige Beleuchtung. Die Mitte und der Rand des Bildes erscheinen dann heller, die dazwischenliegende Zone aber dunkler.

**41. Die Einstellung des Mattscheibenbildes.** Ist das Präparat mit der Linsenfolge, bei der die Aufnahme gemacht werden soll, subjektiv scharf eingestellt, und ist das Verhältnis der Blendenöffnungen geregelt, so muß das volle Licht auf das Mikroskop geworfen und die Kamera mit der Lichtabschlußmanschette zusammengekoppelt werden. Bei Aufnahmen mit Homalen wird dabei verständlicherweise erst das Zwischenstück entfernt und das zum Objektiv passende Homal (s. S. 44) mit dem Paßstück in den Tubus eingesetzt. Bei Homalen sitzt die Lichtabschlußmanschette am Paßstück selbst.

Bei geöffneter Kamera betrachtet man nun das Bild auf der Mattscheibe, um sich von der Helligkeit der Beleuchtung zu überzeugen. Wie schon erwähnt, zentriert man das Leuchtfeld genau auf die Mitte der Mattscheibe und stellt das Mattscheibenbild scharf ein. Sowohl die Helligkeit wie die Scharfe des Bildes ändert sich mit dem Kameraauszug (Abstand zwischen Einstellenebene und Mattscheibenebene). Bei ein und derselben Linsenfolge erhält man die günstigsten Verhältnisse bei einem Abstand von 44 cm, bei welchem das Mattscheibenbild ungefähr dieselbe Vergrößerung zeigt, wie man sie bei subjektiver Beobachtung (virtuelles Bild in der deutlichen Schweite) zu betrachten pflegt. Das Sehfeld auf der Mattscheibe soll nun möglichst so hell erscheinen wie das mikroskopische Bild bei subjektiver Beobachtung. Dieses beurteilt man, wie schon erwähnt, am besten in einem schwach beleuchteten oder verdunkelten Raum und verzichtet auf das übliche dunkle Tuch der Photographen. Einen sehr praktischen Behelf zur Abschirmung der Mattscheibenebene hat neuerdings HEIM (1) angegeben (Abb. 38).

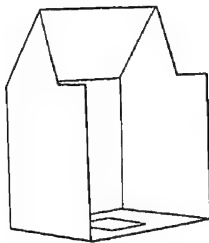


Abb. 38. Kasten aus Pappe zum Platz des Dunkelzuges (AUS HEIM, SK 11, [1, S. 50].)

**42. Die erforderliche Vergrößerung.** Bevor das Mattscheibenbild scharf eingestellt wird, hat man auch zu entscheiden, wie stark das Bild vergrößert werden soll. Der Abbildungsmaßstab des photographischen Bildes wird bei einer konstanten Tubuslänge und bei einer bestimmten Linsenfolge vom Objekt-Bild-Abstand, d. h. vom Kameraauszug (der Kammerlänge), entscheidend beeinflusst. Will man also die von ABBE angegebene erforderliche Vergrößerung (s. S. 20) erhalten, so muß man den Kameraauszug der vorhandenen Okularvergrößerung so anpassen, daß der Abbildungsmaßstab auf der Mattscheibe ungefähr dem Fünfhundert- und Tausendfachen der zum Apertur des Objektivs entspricht.

Das Vergrößerungsmaß des Bildes läßt sich am einfachsten mit einem Objektmikrometer bestimmen. Solche Objektmikrometer, die in Form eines mikroskopischen Präparats eine Teilung zeigen, wo die Abstände 1, 0,5, 0,1 oder 0,01 mm bedeuten, werden mit dem Mikroskop auf die Mattscheibe abgebildet, und man mißt dann mit einem Millimetermaßstab die Länge einer bestimmten Anzahl von Teilungsstrichen. Sei z. B. die Länge von zehn Teilstrichen im Bild 10 mm, und weiß man, daß in Wirklichkeit der Strichabstand des Objektmikrometers 0,01 mm ist, so hat man eine hundertfache Vergrößerung vor sich. Im allgemeinen kommt man in den meisten Fällen mit einem Objektmikrometer aus, dessen Strichabstand 0,01 mm (10  $\mu$ ) ist. Werden jedoch oftens Aufnahmen bei ganz schwachen Vergrößerungen gemacht, so ist es vorteilhaft, wenn das Objektmikrometer eine grobere Teilung (Strichabstand 0,5 oder 0,1 mm) aufweist. Die Ausmessung auf der Mattscheibe erfolgt am besten mit einem Maßstab oder einem Meßband, das in seiner ganzen Länge glatt der Mattscheibe aufliegt. Bei der Ablesung schaut man senkrecht auf die Teilungen, um parallaktische Verschiebungen zu vermeiden. Gut eignen sich zu einer solchen Ablesung die Maßstäbe aus Spiegelglas oder die Maßstreifen aus Papier von SCHLEICHER und SCHULL.

Die entscheidende Frage ist nun, ob der erhaltene Abbildungsmaßstab der forderlichen Vergrößerung entspricht. Bei der subjektiven Beobachtung pflegt man diejenige Linsenfolge zu benutzen, welche bei 160 mm Tubuslänge die forderliche Vergrößerung liefert. Behält man aber diese Linsenfolge auch bei der Aufnahme und benutzt man eine größere Kameralänge als 45 cm, so wird verständlicherweise an der Mattscheibe die forderliche Vergrößerung mehr oder weniger überschritten. Man muß demnach zwischen zwei Verfahren wählen: entweder erzielt man die Bildvergrößerung mit dem Okular und stellt die Kamera so auf, daß das Mattscheibenbild ungefähr die Vergrößerung hat wie das subjektiv beobachtete, oder aber man benutzt ein schwächeres Okular und erzeugt die forderliche Vergrößerung durch den Kammerauszug erst auf der Mattscheibe.

Bei jeder Bildvergrößerung mit dem Kammerauszug ist zu beachten, daß die stärkste und scharfste Vergrößerung, welche man rein durch die Verlängerung des Balges erzielen kann, bei den kleinen Balgkammern sich ungefähr so verhalten wie 3 : 1 (beim Apparat von ROMERS nur ungefähr wie 2 : 1). Um also das im Mikroskop subjektiv beobachtete Bild auf das Doppelte zu vergrößern, muß man schon mit einem ziemlich langen Auszug arbeiten, was die scharfe Einstellung auf der Mattscheibe und sonstige Manipulationen am Mikroskop recht unbequem gestaltet. Auch werden die Bildscharfe und die Helligkeit durch eine Bildvergrößerung, welche rein mit dem Kammerauszug erzielt sind, ungünstiger beeinflußt als bei derselben Vergrößerung mit einem stärkeren Okular. Bei schwachen und mittelstarken Objektiven, die sehr lichtstarke Bilder erzeugen und mit denen man Übersichtsbilder in einem großen Gesichtsfeld aufzunehmen pflegt, läßt sich die forderliche Vergrößerung in der Hauptsache mit dem Kammerauszug herstellen. Bei starken Trockensystemen und Immersionslinsen ist es jedoch zweckmäßiger, die Bildvergrößerung in der Hauptsache mit starken Okularen herzustellen und einen kurzen Auszug zu benutzen. Dabei erhält man ein kleineres Bildfeld, in dessen Mitte aber die Abbildung besonders scharf ist.

Speziellen Verhältnissen begegnet man bei der Benutzung von Homalen. Wie immerlich, besitzen die verschiedenen Typen dieser für die Mikrophotographie besonders geeigneten Okulare dieselbe Brennweite (2 cm) und dementsprechend auch dieselbe 12,5fache Lupenvergrößerung. Arbeitet man also mit Homalen, so erhält man stets denselben Grad der Okularvergrößerung, und



erst durch den Kammerauszug wird die erforderliche Vergrößerung erzielt. Mit den Homalen braucht man auch bei einem längeren Auszug keine Verschlechterung der Bildscharfe zu befürchten, denn die Bildfeldkrümmung wird durch sie ausgeglichen. Ähnliche Vorteile hat man auch von den periplanatischen und komplanatischen Okularen.

In welcher Weise man auch die gewünschte Bildvergrößerung erzeugt, wird es sich stets als nützlich erweisen, wenn man das mikrophotographische Bild etwas stärker vergrößert, als man das mikroskopische Bild subjektiv zu betrachten pflegt. Am besten wirken die Lichtbilder, wenn sie etwa anderthalbmal stärker vergrößert sind als das subjektiv beobachtete mikroskopische Bild. Hat man z. B. von einem Objekt ein 100fach vergrößertes Bild im Mikroskop subjektiv beobachtet, so wird man am ehesten denselben Eindruck von seinem Lichtbild erhalten, wenn dieses das Objekt bei 150facher Vergrößerung wiedergibt. Der Grund dafür liegt wahrscheinlich darin, daß man bei der subjektiven Beobachtung unmittelbar die Lichtstrahlen, welche von der Struktur ausgegangen sind, mit dem Auge empfängt. Man wird dabei die Auflösung der Struktur schon bei einer geringeren Bildvergrößerung wahrnehmen, da das Bild gewissermaßen selbst leuchtet und daher gut hell erscheint. Diese Lichtwirkung wird man natürlich von keiner noch so gut gelungenen Mikrophotographie erhalten, außer von Glasbildern, die stark durchleuchtet sind. Betrachtet man also eine Mikrophotographie auf Papier bei zerstreutem Licht aus der deutlichen Sehweite, so wird man bei derselben Vergrößerung weniger Einzelheiten wahrnehmen, als solche im Mikroskopbild sichtbar wurden. Die Auflösung der Struktur ist nichtig vorhanden, denn betrachtet man es näher oder mit einer schwachen Lupe, so erkennt man dann alle Strukturen, die man subjektiv beobachtet hat. Die erforderliche Vergrößerung, bei der die aufgeloste Struktur gut sichtbar wird, ist aber nicht erreicht worden, obwohl man für das subjektive Bild die erforderliche Vergrößerung richtig erzielt hatte. Man soll stets dessen bewußt sein, daß das photographische Bild, sofern es kein Glasbild ist, nur ein objektähnliches Produkt der Lichtwirkung darstellt und nicht die Lichtwirkung selbst wiederholen kann, welche bei subjektiver Beobachtung vom Objekt auf das Auge ausgeübt wird. Wie weit man in diesem Bild aus der deutlichen Sehweite dasselbe erblicken wird, was man subjektiv beobachtet hat, hängt sehr stark davon ab, bei welcher Beleuchtung man die Photographie betrachtet. Je größer der Unterschied ist zwischen der mikroskopischen Beleuchtung und jener, bei der man die Photographie betrachtet, um so deutlicher müssen die Kontraste in der Photographie hervortreten, desto klarer müssen die Struktureinzelheiten voneinander getrennt sein, damit man denselben Eindruck erhalte wie vom subjektiven mikroskopischen Bild.

Durch Kombination der Linsenfolgen mit verschiedenen Kammerlängen erhält man eine reiche Auswahl von Vergrößerungen, unter denen dann die günstigste zu bestimmen ist. In Wirklichkeit wird man sich mit einigen gut bewährten Linsenfolgen und den dazu passenden Kammerlängen für schwache, mittelstarke und stärkste Vergrößerungen begnügen. Unter den Zeiss Objektiven eignen sich gut für schwache Vergrößerungen der Achromat aa (6fach), für mittelstarke der Achromat A (8fach) und D (40fach), für starke Vergrößerungen das Fluoritsystem hom. Imm.  $1\frac{1}{12}$  Fl (100fach), mit den periplanatischen Okularen 8fach und 12fach (LERTZ) bzw. mit den entsprechenden Homalen I, III und IV. Dieselbe Vergrößerungsreihe erhält man bei höheren Aperturen mit den Apochromaten 30, 16 und 4 mm (Korrektionsfassung) und mit den hom. Imm. Apochromat 2 mm (Einzelvergrößerung 90fach, num. Ap. 1, 3) oder dem Arbeitssystem 90fach (frühere Bezeichnung  $1\frac{1}{12}$ ). Für mittelstarke Vergrößerungen eignet sich vor allem der Halbapochromat 50fach ( $1\frac{1}{7}$ ), den man vorteilhaft an Stelle des Trocken-

systems D oder des Apochromats 4 mm benutzen kann. Ein besonderes Vorteil dieser eigens für mikrophotographische Arbeiten gebauten Immersionslinse ist die mit einem großen, freien Arbeitsabstand (0,40 mm) verbundene hohe Apertur (0,85). Dazu kommen noch die Vorteile der homogenen Immersion. Eine gerade für die mikrophotographische Aufnahme sehr wertvolle Eigenschaft der Linse ist ferner ihre im Vergleich zum Trockenapochromat 4 mm größere Tiefenschärfe<sup>1</sup>.

Was die Okulare anbelangt, empfiehlt es sich, nur Homale oder periplanatische bzw. komplanatische Okulare zu benutzen (s. S. 43). Dort, wo man mit Apochromaten die Aufnahme ausführt und die Vorteile dieser Objektive restlos ausnutzen will, wählt man statt der Kompensationsokulare die Homale. Es sei jedoch betont, daß die periplanatischen Okulare von LEITZ auch mit den Apochromaten gut zu gebrauchen sind, und zwar eignen sich dazu am besten die Okulare 8fach und 12fach. Die volle Leistung der ZEISSschen Immersionsapochromaten 2 mm und 1 1/2 mm erhält man in der Mikrophotographie immerhin in bester Form mit dem Homal IV. Für schwächere Achromate (z. B. ZEISS-Obj. 8fach und 20fach) eignen sich wiederum die komplanatischen (WINKEL) oder periplanatischen (LEITZ) Okulare besser, da sie keine den Apochromaten angepaßte Überkorrektur aufweisen wie die Homale. Auch bei den schwächsten Apochromaten (ZEISS-Obj. 5fach, Apochromate von WINKEL 40 und 24 mm) erhält man bessere Resultate mit periplanatischen Okularen (ROMERS [1, S. 425]). Die um 2 cm kürzere Tubuslänge, die man bei der Benutzung der Homale erhält (140 statt 160 mm<sup>2</sup>) hat für die Bildvergrößerung keine weitere Bedeutung.

Abgesehen von den Homalen pflegt man das Bild zunächst bei einer Tubuslänge von 160 mm einzustellen wie sonst in der Mikroskopie. Bekanntlich fällt das Zwischenbild bei dieser Tubuslänge in den Brennpunkt des Okulars, und das so erzeugte mikroskopische Bild wird demzufolge virtuell. Um nun ein reelles Bild auf der Mattscheibe zu erzielen, muß man den vorderen Brennpunkt des Okulars vom Zwischenbild um eine Kleinigkeit weiter abrücken, d. h. man zieht den inneren Tubus um 1–2 mm heraus. Selbstverständlich darf auch die Kamera nicht früher mit dem Mikroskop verbunden werden, bis das Mattscheibenbild auf diese Weise annähernd scharf eingestellt worden ist.

Bei schwachen Okularen soll das Mattscheibenbild stets so annähernd scharf eingestellt werden. Nur zur letzten Scharfe benutze man dann die Mikrometerschraube. Bei stärkeren Okularen, welche der Korrektur der Objektive streng angepaßt sind, ist es dagegen ratsamer, die scharfe Einstellung in der Hauptsache mit der Mikrometerschraube zu erzielen, damit der für die Güte der Strahlenvereinigung wichtige Abstand zwischen Objektiv und Okular nicht geändert werde. Mit den sog. Projektionsokularen (s. S. 45) kann man das reelle Bild auf der Mattscheibe ohne Änderung der Tubuslänge in bequemer Weise erzielen. Besonders angenehm gestaltet sich die Arbeit mit den photographischen Okularen der Firma WINKEL, welche nach dem Prinzip der Projektionsokulare hergestellt sind (Abb. 16). Sie liefern durch Verstellung der verschiebbaren Augenlinse ein scharfes reelles Bild, das jedoch auf die Bildfeldkrümmung nicht korrigiert ist.

<sup>1</sup> Eine ähnliche Zusammenstellung erhält man mit den LEITZ-Objektiven Achromat 2, 3, 6 und hom. Imm. 1/12a oder den Apochromaten 16, 4 und 2 mm (hom. Imm.). Dem ZEISSschen Immersionsachromat 1/7 entspricht das Fluoritsystem hom. Imm. 1/7a von LEITZ. Bei Objektiven der Firma RICHART benutzt man am besten Achromat 2, 3, 6 (gleichgültig ob a oder b) und hom. Imm. 1/12a bzw. die Apochromate von derselben Bezeichnung wie bei den ZEISS- und LEITZ-Objektiven. Dem Immersionsachromat 1/7 von ZEISS dürfte unter den Objektiven von RICHART die Ol. Immersionslinse 1/7<sup>11</sup> am nächsten kommen.

<sup>2</sup> Beim Homal 7 cm Brennweite nur 137 mm.

Hat man die gewünschte Vergrößerung auf der Mattscheibe erzielt, so muß der Objekt-Bild-Abstand festgestellt werden, damit man die Kammerlänge für eine bestimmte Vergrößerung bei ein und derselben Linsenfolge kennt. Dort, wo die Laufstange keine Teilung aufweist, erhält man sichere Angaben über den Kameraauszug, wenn man die Entfernung zwischen Objekt und Mattscheibe bestimmt. Bei Apparaten, wo die Laufstange mit einer Teilung versehen ist (mit dem Nullpunkt in der Ebene des Mikroskoptisches) genügt es, die Lage der oberen Gleithülse abzulesen, vorausgesetzt, daß man immer mit ein und demselben Stativ und mit Präparaten der üblichen Form zu tun hat. Ist das aber nicht der Fall, und sind z. B. Unterschiede in der Höhe des Mikroskoptisches oder der Präparate vorhanden, so muß man erst die Hohenlage der Tischebene oder des Präparates feststellen und dann von diesem Punkt aus die Stellung der oberen Gleithülse ablesen<sup>1</sup>. Wo die Laufstange keine Teilung besitzt, muß man den Objekt-Bild-Abstand mit einem Meßstab unmittelbar ausmessen.

Tabelle 12 Die mikrophotographische Bildvergrößerung  
(Nach B. ROMERS aus

Achromatische Objektive

Objektiv <sup>a</sup>	Okular	Auszug <sup>a</sup>	Vergrößerung	Beleuchtungssystem
<i>Achromat aa</i> 0,17 numerische Apertur, 26 mm Brennweite (neue Bezeichnung Achromat 6, 0,17 numerische Apertur, 23,5 mm Brennweite)	Periplanat Okular 8	40	27,7	Kondensor ohne Front <sup>1</sup>
		50	46,5	
		60	65,5	
	Periplanat Okular 12	40	42	Desgl.
		50	69	
		60	97	
	Homal I	40	61	Desgl.
		50	91	
		60	120	
<i>Achromat A</i> 0,20 numerische Apertur, 15 mm Brennweite (neue Bezeichnung Achromat 8, 0,20 numerische Apertur, 18 mm Brennweite)	Periplanat Okular 8	40	52,5	Kondensor ohne Front <sup>1</sup>
		50	85	
		60	117	
	Periplanat Okular 12	40	78,5	Desgl.
		50	125	
		60	172	
	Homal I	40	113	Desgl.
		50	164	
		60	213	

<sup>1</sup> Beim Ablesen der Tischhöhe oder der Objekthöhe bedient man sich eines T-Lineals. Die Schichthöhe der üblichen mikroskopischen Präparate zwischen Objektträger und Deckglas kann bei der Feststellung des Objekt-Bild-Abstandes vernachlässigt werden. Bei Präparaten jedoch, wo die Einstellebene um 1/2 cm oder noch höher steht als die Tischebene des Mikroskopstativs (z. B. feste Körper bei Untersuchungen in auffallendem Licht oder mit dem Polarisationsmikroskop) muß der Objektbildabstand stets von der oberen Fläche des Objekts gemessen werden.

<sup>2</sup> Den Tabellen wurden die ZEISS'schen Objektive zugrunde gelegt, ob in der neuen oder in der älteren Fassung, ist daraus ersichtlich, daß der zur Messung verwendete Typus jeweils an der Spitze steht, während der entsprechende andere in Klammern gesetzt wurde. Die Unterscheidung war nötig, da sich die neuen Objektive in ihrer Brennweite von den älteren in einzelnen Fällen etwas unterscheiden.

Man zieht dazu die Mattscheibe zur Hälfte aus dem Rahmen heraus, öffnet den Verschuß der Kamera und entfernt die Linse aus dem Tubus (man kann auch den ganzen Tubus vom Stativ entfernen). Jetzt wird ein Maßstab durch die Kamera auf das Präparat gestellt mit dem Nullpunkt am Objekt, und so liest man am Maßstab die Entfernung bis zur oberen Fläche des Mattscheibenrahmens ab. Von dieser Zahl muß man noch die Hälfte der Dicke des Mattscheibenrahmens abziehen. Da es ziemlich zeitraubend ist, für alle in Betracht kommenden Vergrößerungen den Objekt-Bild-Abstand in dieser Weise zu ermitteln, so ist es praktischer, die Messung bei der höchsten Stellung der Mattscheibe vorzunehmen — wo die obere Gleithülse ganz am oberen Ende der Laufstange steht — und dann bei kürzeren Kameraauszügen von diesem Wert die Differenz bis zum oberen Ende der Laufstange abzuziehen.

Linsefolge und Kammerlänge, bei denen die Aufnahme erfolgt ist, sollten nach jeder Aufnahme aufgeschrieben werden, um dasselbe Vergrößerungsmaß immer wieder leicht herstellen zu können. Eine recht praktische Zusammenstellung von Linsefolgen und Kammerlängen für verschiedene Vergrößerungsmaße findet der Leser untenstehend in den von B. ROMEIS (1) stammenden Tabellen.

bei verschiedenen Linsefolgen und Kammerlängen  
ROMEIS [1, S. 426—427]

#### Apochromatische Objektive

Objektiv	Okular	Auszug	Vergrößerung	Beleuchtungssystem
<i>Apochromat 5 mm</i> 0,15 numerische Apertur, 30 mm Brennweite	Periplanat	40	23	Kondensor ohne Front <sup>1</sup>
	Okular 8 ×	50	39	
		60	56	
	Periplanat	40	34,5	Desgl.
	Okular 12 ×	50	58,5	
		60	82	
	Homal I	40	51,5	Desgl.
		50	77	
		60	103	
<i>Apochromat 16 mm</i> 0,3 numerische Apertur, 16 mm Brennweite (neue Bezeichnung Apochromat 10, 0,3 numerische Apertur, 16,2 mm Brennweite)	Periplanat	40	57,5	Kondensor ohne Front <sup>1</sup>
	Okular 8 ×	50	94	
		60	130	
	Periplanat	40	86,5	Desgl.
	Okular 12 ×	50	138	
		60	190	
	Homal I	40	124	Desgl.
		50	180	
		60	237	

Bei Verwendung von Objektiven anderer Firmen läßt sich aus einem Vergleich der Brennweiten ohne weiteres erkennen, wie weit die in der Tabelle angegebenen Vergrößerungszahlen auch für diese zutreffen.

<sup>1</sup> Die hier angegebenen Werte beziehen sich auf die Maßstabteilung der Laufstange. Sie besagen, daß die Gleithülse des Mattscheibenrahmens so eingestellt wurde, daß die untere Fläche der Mattscheibe in gleicher Höhe mit dem Teilungsstrich 40, 50 oder 60 der Laufstange lag. Der absolute Wert hängt natürlich von der Objekthöhe des verwendeten Mikroskopes ab. Im vorliegenden Fall war die Entfernung zwischen Objekt und Mattscheibe bei Auszug 40, 50 oder 60 gleich 37,5 cm, 47,5 cm bzw. 57,5 cm.

<sup>2</sup> Bei Verwendung eines achromatischen Kondensors muß am Blendenhalter des Beleuchtungsapparates eine „Korrektionslinse“ angebracht werden.

Tabelle 12

## Achromatische Objektive

Objektiv	Okular	Auszug	Vergrößerung	Beleuchtungssystem
<i>Achromat C</i> 0,40 numerische Apertur, 7 mm Brennweite (neue Bezeichnung Achromat 20, 0,4 numerische Apertur, 8,3 mm Brennweite)	Periplanat	40	118	Kondensor ohne Front <sup>1</sup>
	Okular 8 ×	50	190	
		60	262	
	Periplanat	40	177	Desgl
	Okular 10 ×	50	280	
		60	385	
	Homal I	40	250	Desgl
		50	362	
		60	475	
<i>Achromat D</i> 0,65 numerische Apertur, 4,2 mm Brennweite (neue Bezeichnung Achromat 40, 0,65 numerische Apertur, 4,4 mm Brennweite)	Periplanat	40	212	Voller Kondensor
	Okular 8 ×	50	345	
		60	475	
	Periplanat	40	315	Desgl
	Okular 12 ×	50	500	
		60	695	
	Homal III	40	430	Desgl
		50	625	
		60	820	
<i>Achromat E<sup>2</sup></i> 0,90 numerische Apertur, 2,8 mm Brennweite (neue Bezeichnung Achromat 60, 0,90 numerische Apertur, 2,9 mm Brennweite)	Periplanat	40	340	Voller Kondensor mit Immersion
	Okular 8 ×	50	540	
		60	740	
	Periplanat	40	500	Desgl
	Okular 12 ×	50	790	
		60	1080	
	Homal III	40	680	Desgl
		50	980	
		60	1270	
<i>Homogene Ölimmersion</i> <sup>1/12-Fl</sup> 1,13 numerische Apertur, 1,8 mm Brennweite (neue Bezeichnung H I Achromat 100, 1,30 numerische Apertur, 1,8 mm Brennweite)	Periplanat	40	510	Voller Kondensor mit Immersion
	Okular 8 ×	50	830	
		60	1140	
	Periplanat	40	770	Desgl
	Okular 12 ×	50	1220	
		60	1670	
	Homal IV	40	1070	Desgl
		50	1560	
		60	2050	

Die Kammerlänge zu einer bestimmten Vergrößerung läßt sich auch nach einem von A KOHLER (8, S 1719) angegebenen Verfahren im voraus ermitteln wenn man die Vergrößerung bei ein und derselben Linsenfolge mit dem längsten und dem kürzesten Kameraauszug kennt. Sei der Abstand vom oberen Ende der Laufstange bis zur Mattscheibenebene  $l_1$  beim kürzesten und  $l_2$  beim längsten Kameraauszug, so gilt die Gleichung

$$l_1 - l_2 = f (N_2 - N_1) \quad (10)$$

wo  $f$  die Brennweite des ganzen Mikroskops,  $N_1$  die geringste und  $N_2$  die stärkste Vergrößerung bei derselben Linsenfolge bedeuten. Bei Apparaten deren Laufstangen mit einer Teilung versehen sind, erhält man mit der an der Teilung abgelesenen Zahl unmittelbar den Objekt-Bild-Abstand  $m_1$  bzw.  $m_2$  wobei zu

<sup>1</sup> Siehe Fußnote 4, S 85<sup>2</sup> Mit Korrektionslinsung

(Fortsetzung)

## Apochromatische Objektive

Objektiv	Okular	Auszug	Vergrößerung	Beleuchtungssystem
<i>Apochromat 8 mm</i> 0,65 numerische Apertur 8 mm Brennweite (neue Bezeichnung Apochromat 20, 0,65 numerische Apertur, 8,3 mm Brennweite)	Periplanat	40	110	Voller Kondensor
	Okular 8 ×	50	181	
		60	250	
	Periplanat	40	165	Desgl
	Okular 12 ×	50	266	
		60	365	
	Homal III	40	226	Desgl
		50	330	
		60	435	
<i>Apochromat 4 mm<sup>2</sup></i> 0,95 numerische Apertur, 4 mm Brennweite (neue Bezeichnung Apochromat 40, 0,95 numerische Apertur, 4,3 mm Brennweite)	Periplanat	40	217	Voller Kondensor
	Okular 8 ×	50	355	
		60	495	
	Periplanat	40	325	Desgl
	Okular 12 ×	50	520	
		60	720	
	Homal III	40	450	Desgl
		50	650	
		60	850	
<i>Apochromat 60<sup>2</sup></i> 0,95 numerische Apertur, 2,9 mm Brennweite (alte Bezeichnung Apochromat 3 mm 0,95 numerische Apertur)	Periplanat	40	320	Voller Kondensor mit Immersion
	Okular 8 ×	50	510	
		60	710	
	Periplanat	40	470	Desgl
	Okular 12 ×	50	750	
		60	1040	
	Homal III	40	640	Desgl
		50	940	
		60	1220	
<i>Homogene Ommersion, Apochromat 3 mm</i> 1,4 numerische Apertur (neue Bezeichnung H O Apochromat 60, 1,4 numerische Apertur 2,9 mm Brennweite)	Periplanat	40	315	Voller Kondensor mit Immersion
	Okular 8	50	510	
		60	705	
	Periplanat	40	480	Desgl
	Okular 12	50	750	
		60	1030	
	Homal IV	40	660	Desgl
		50	960	
		60	1270	

merken ist, daß  $l_1 = s - m_1$  und  $l_2 = s - m_2$  ist, wenn  $s$  die Länge der Laufstange bedeutet. Den Wert von  $f$  erhält man entweder aus der Gleichung

$$f = \frac{l_1}{l_2} \cdot f_2, \quad (11)$$

wo  $f_1$  die Brennweite des Objektivs und  $f_2$  die des Okulars darstellt (s. S. 14), oder noch einfacher aus der Gleichung

$$f = \frac{l_1}{N_2} \cdot \frac{l_2}{N_1} \quad \text{bzw.} \quad \frac{m_2}{N_2} \cdot \frac{m_1}{N_1} \quad (12)$$

Soll nun aus den bekannten Werten für den kürzesten und längsten Kameraauszug die Kameralänge für eine Zwischenstufe, z. B. für die Vergrößerung  $N_1$ , ermittelt werden, so errechnet man diese aus der Gleichung

$$l_1 = l_2 + f \cdot (N_2 - N_1) \quad \text{bzw.} \quad m_1 = m_2 + f \cdot (N_1 - N_2) \quad (13)$$

Der Sicherheit halber empfiehlt es sich, dieselbe Rechnung auch mit einer zweiten Gleichung durchzuföhren

$$l_3 - l_2 = f (N_2 - N_3) \quad \text{bzw} \quad m_2 - m_3 = f (N_2 - N_3) \quad (14)$$

Da bei den in runden ganzen Zahlen angegebenen Weiten von  $f$  und  $N$  Abweichungen zwischen den Resultaten nach Gl (13) und Gl (14) häufig vorkommen, wählt man das mathematische Mittel für den Wert von  $l_3$  bzw  $m_3$

Sei z B bei der Linsenfolge ZEISS-Achromat 8fach, periplanat Okular 12fach mit dem kürzesten Kameraauszug  $m_1 = 40$  cm ( $l_1 = 60$  cm) die Vergrößerung ( $N_1$ ) = 78fach, mit dem längsten Kameraauszug  $m_2 = 60$  cm ( $l_2 = 40$  cm) die Vergrößerung ( $N_2$ ) = 172fach, so erfolgt die Berechnung der Kameralänge ( $l_3$ ) für eine Vergrößerung ( $N_3$ ) von 125fach folgendermaßen

$$\begin{aligned} 60 - l_3 &= f (125 - 78) \\ f &= \frac{l_1 - l_2}{N_2 - N_1} = \frac{60 - 40}{172 - 78} = 0,21 \quad 94 = 0,21 \text{ cm} \\ l_3 &= 60 - (0,21 \cdot 47) = 60 - 9,9 = 50,1 \end{aligned} \quad (15)$$

oder, falls man statt  $l_1$  und  $l_3$  die Werte von  $m_1$  und  $m_3$  einsetzt

$$\begin{aligned} m_3 - 40 &= f (125 - 78) = 0,21 \cdot 47 \\ m_3 &= 9,9 + 40 = 49,9 \end{aligned} \quad (16)$$

Nach der Gl (14) ergibt sich dann folgendes Resultat

$$\begin{aligned} l_3 - 40 &= f (172 - 125) = 0,21 \cdot 47 = 9,9 \\ l_3 &= 40 + 9,9 = 49,9 \end{aligned} \quad (17)$$

oder

$$\begin{aligned} m_2 - m_3 &= 60 - m_3 = f (172 - 125) = 0,21 \cdot 47 = 9,9 \\ m_3 &= 60 - 9,9 = 50,1 \end{aligned} \quad (18)$$

Wir sehen, daß die Ergebnisse bei den Gl (15) und (18) wie auch bei (16) und (17) vollkommen übereinstimmen, zwischen den Gleichungspaaren jedoch eine Differenz von 0,2 vorhanden ist. Der Unterschied läßt sich gut erklären mit der Vernachlässigung von Bruchteilen bei der Ablesung von  $m_1$  und  $m_2$ . Man nimmt daher als Kameralänge für die Vergrößerung 125fach (bei Objektiv 8fach und Okular 12fach) den Mittelwert = 50 cm (vgl. Tabelle 12).

**43. Die scharfe Einstellung.** Die endgültige Einstellung erfolgt erst, wenn man die erforderliche Vergrößerung bzw die für die Aufnahme günstige Vergrößerung mit dem Kameraauszug festgelegt hat. Es ist vorteilhaft, das Bild zuerst beim kürzesten Kameraauszug auf der Mattscheibe scharf einzustellen und erst dann den Balg weiter auszuziehen, denn nur so kann man richtig beurteilen, wie weit die Bildhelligkeit und -scharfe sich bei längeren Kameraauszügen ändern.

Leichtbegreiflicherweise ist die Güte der photographischen Aufnahme in hohem Maße davon abhängig, wie weit es gelungen ist, das Mattscheibenbild scharf einzustellen. Hierbei sei zunächst bemerkt, daß eine genügend scharfe Einstellung auf der Mattscheibe nur bei stark lichtbrechenden oder gefärbten Objekten (fixierten und gefärbten Präparaten) und auch bei diesen nur bis zu mittelstarken Vergrößerungen (etwa bis 300fach) erreicht werden kann. Die Kornung der Mattscheiben läßt bei feineren Strukturen und bei stärkeren Vergrößerungen keine vollkommen scharfe Einstellung zu. Will man aber gerade in solchen Fällen eine richtige Bildscharfe erzielen, so muß man entweder die

Einstellupe oder, falls man auf die Mattscheibe angewiesen ist, das Verfahren der „pendelnden Scheibe“ (von A KOHLER [8, S 1710] angegeben) benutzen.

Dieses besteht darin, daß man die Mattscheibe aus ihrem Rahmen einige Millimeter hinauszieht und während der Beobachtung rasch hin und her bewegt. Während dieses Pendelns verschwindet das Korn der Mattscheibe fast vollkommen, und das Bild kann scharf eingestellt werden. Übersichtsbilder bei mittleren Vergrößerungen lassen sich so recht gut einstellen, für sehr zarte Strukturfeinheiten ist jedoch das Verfahren nicht geeignet, da das Bewegen der Scheibe die Aufmerksamkeit des Forschers vom Bilde ablenkt. Auch die Betätigung der Mikrometerschraube ist etwas unbequem, wenn man inzwischen mit der anderen Hand die Mattscheibe hin und her bewegen muß.

Das Bild auf der Mattscheibe muß aus der deutlichen Sehweite, nicht zu nahe der Mattscheibe, betrachtet werden, und zwar möglichst so, daß man mit einem Blick das ganze Bild aufnehmen kann. Um die Bildscharfe richtig beurteilen zu können, muß die Blickrichtung in die optische Achse des Mikroskops fallen, sonst kann man sich leicht täuschen, besonders was die Helligkeit der Randeile anbelangt. Bei Übersichtsbildern wird am besten eine Einstellung gewählt, bei der die Bildscharfe überall, sowohl in der Mitte wie am Rande, gleich ist. Da die dazu gebräuchlichen Objektive eine verhältnismäßig große Tiefscharfe haben, gelingt es mit den Homalen und periplanatischen (komplanatischen) Okularen mühelos, die gleiche gute Bildscharfe überall zu erhalten. Bei starken Vergrößerungen wird ein gleichmäßig scharfes Bild nur selten zu erhalten sein. Wieweit man ein solches überhaupt erzielen kann, hängt von Fall zu Fall von der Tiefscharfe des Objektivs und der Beschaffenheit des Präparats ab. Die Randunscharfe des Bildes kann hervorgerufen werden 1 durch die Bildfeldkrümmung, 2 durch die sphärische Aberration und 3 durch den Astigmatismus. Hat man also mit periplanatischen (komplanatischen) Okularen oder den Homalen die Bildfeldkrümmung ausgeglichen, mit korrigierten Objektiven die sphärische Aberration und das Auftreten des Astigmatismus verhindert, so mußte man auch bei den stärksten Vergrößerungen ein einwandfreies Bild scharf im ganzen Sehfeld erzielen können. Tatsächlich erhält man aber ein scharfes Bild bei starken Vergrößerungen nur dann, wenn außer der Vollkommenheit des abbildenden optischen Systems auch das Objekt dafür geeignet, d. h. flächenhaft und dünn genug ist. Die günstigsten Bedingungen dafür bieten die dünnen Ausstrichpräparate (Bakterien-, Blut- und ähnliche Ausstriche). Je größer jedoch die Schichthöhe des Präparats im Vergleich zur Tiefscharfe des Objektivs ist, um so kleiner wird der scharf einstellbare Teil in der Mitte des Sehfeldes sein.

a) Die stufenweise Einstellung. Zur Erzielung einer scharfen Aufnahme bei solchen dickeren Objekten leistet das Verfahren von PETERSEN (1, 3) mit stufenweiser Einstellung (Aufnahmen bei mehreren Einstellungen) vorzügliche Dienste<sup>1</sup>. Das Verfahren besteht darin, daß man das Präparat bei drei verschiedenen Einstellungen dreimal belichtet, und zwar so, daß die drei Belichtungszeiten zusammen eine leichte Überbelichtung ergeben. Ist z. B. die günstige Belichtungszeit für die Aufnahme 10 Sekunden, so belichtet man bei einer hohen, einer mittleren und einer tiefen Einstellung je 4 Sekunden lang und erhält eine leichte Überexponierung mit 12 Sekunden. Das stufenweise Einstellen in die Tiefe erfordert eine Mikrometerschraube mit geeichter

<sup>1</sup> Schon CAPRANICA (1) hat 1888 mittels des Systems der sukzessiven Pausen Ähnliches versucht, und BOESCHOLD (1) hat etwa um dieselbe Zeit Diatomeen mit 3 Aufnahmen nacheinander auf derselben Platte abgebildet. Ein ähnliches Verfahren verwendet auch A. TRIFIL-BERNARD (1) zur Herstellung plastisch wirkender Diapositive, wobei die einzelnen Aufnahmen auf einzelnen Diapositivplatten gemacht werden, die man dann mit Kanadabalsam zusammenklebt.



Teilung, wie sie bei größeren Stativen allgemein vorhanden ist. So stellt man erst auf die höher liegende optische Ebene des Objekts scharf ein und fokussiert dann mit der Mikrometerschraube einige Teilstriche weiter nach unten, ebenso nach der zweiten Aufnahme. Selbstverständlich muß man dabei die Dicke des Präparats und den Wert der Teilstriche in  $\mu$ -Werten genau kennen. Das Wesentliche bei der weiteren Behandlung der Platte ist, daß man das Bild mit einem gleichmäßig langsam wirkenden Standardentwickler, am besten mit einem Glyzinentwickler, hervorruft. Auch eignen sich dafür in der Hauptsache Präparate, welche gute graphische Kontraste zeigen (z. B. gut differenzierte Eisenhamatoxylinpräparate ohne Plasmafärbung), eine Voraussetzung, die auch sonst in der Mikrophotographie berücksichtigt werden soll (Abb. 39a und b). Das Verfahren von

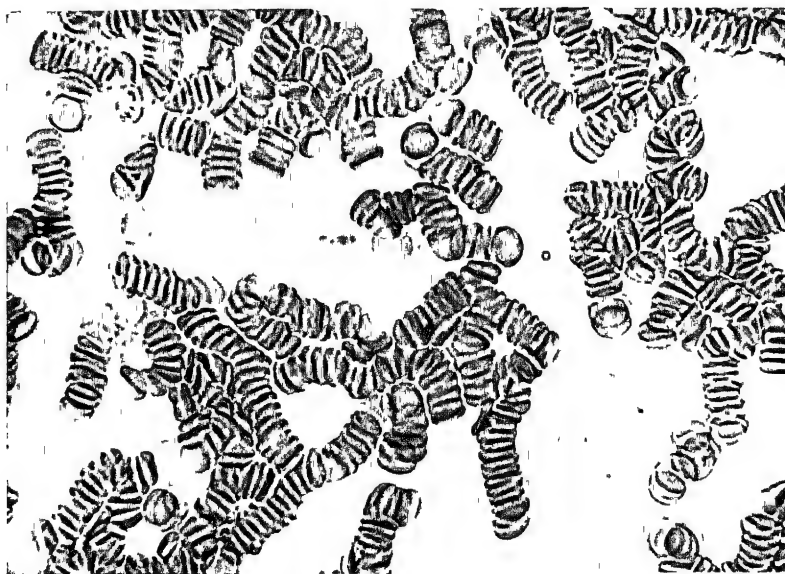


Abb. 39a. Aufnahme mit zwei Teilstrichen. Menschliches Blut, frisch.  
(Aus H. PETERSEN [7] Abb. 400. S. 311. Bildvergr. 600fach)

PETERSEN eignet sich nicht allein für dicke oder dickere Präparate, sondern überall dort, wo die Schichthöhe der Objektive zur Tiefenschärfe des Objektivs in einem bestimmten Verhältnis steht. Man kann die geeignete Schichtdicke für verschiedene Vergrößerungen mit ausreichender Genauigkeit im Voraus bestimmen, wenn man mit den Quotienten der Aperturen die Tiefenschärfe des stärksten Objektivs multipliziert und das Zehnfache der so erhaltenen Zahl als Schichtdicke wählt. Sei z. B.  $a_1$  die Apertur der stärksten Linse unserer Objektivreihe (Fluoritsystem, hom. Imm.  $1/12$ ) mit der Tiefenschärfe  $T_f = 0,38 \mu$ . Wir wollen nun ermitteln, welche Schichtdicke ( $D$ ) am besten passen würde zu der Tiefenschärfe des Objektivs Apochromat 4 mm mit der Apertur  $a_2$ .

$$D = 10 \left( \frac{a_1}{a_2} \cdot 0,38 \right) = 10 \left( \frac{1,3}{0,95} \cdot 0,38 \right) = 10 (1,4 \cdot 0,38) = 5,32 \mu \text{ rund } 5 \mu \quad (19)$$

Beim Trockenachromat 40fach mit der Apertur 0,65 erhält man in ähnlicher Weise rund  $7,5 \mu$  und für ein schwaches Objektiv (z. B. LEITZ 3) mit der Apertur  $0,25 = 19 \mu$  (man wählt aber passender  $20 \mu$ ). Über die Aufnahmen bei mehreren Einstellungen in der U-V-Photographie s. S. 303.

b) Die Einstellung mit Lupe und Spiegelglasscheibe Eine weit bessere scharfe Einstellung als mit der Mattscheibe erhält man mit der Einstell-Lupe (Abb 40) und einer Spiegelglasscheibe Man setzt dafür an Stelle der Mattscheibe die Spiegelglasscheibe ein, welche auf ihrer dem Mikroskop zugekehrten Seite mit einem Kreuz versehen ist Als Einstell-Lupe benutzt man eine aplanatische Lupe von sechsfacher Vergrößerung, die in einer Hülse verstellbar ist und an der Fassung meistens auch eine Teilung besitzt Viele Einstell-Lupen haben keine solche Teilung Diese werden nach erfolgter Einstellung in ihrer Hülse festgeklemt Die Einstellung der Lupe erfolgt so, daß man sie, aus der Hülse etwas herausgezogen, auf die Glasscheibe stellt und dann so weit in ihre Hülse einschraubt (oder einschreibt), bis das Strichkreuz ganz scharf sichtbar wird Um das Lupenbild gut überblicken zu können, muß man das Auge richtig auf den Augenkreis



Abb 39 b Aufnahme mit  
Arterienverzweigung aus der Pia mater,  
(AUS H. PIERSON Histologie und mikroskopische Anatomie Abb 371, S 313  
Angabe über Vergrößerung fehlt)

a b Zellkerne aus verschiedenen Schichten gleichmäßig scharf abgebildet  
Bei \* überzeichneter Kern

(Austrittspupille) der Lupe stellen, was bei den verhältnismäßig starken Lupen, wo der Augenkreis ziemlich klein ist, einige Übung erfordert Das Auge muß der Linse so nahe liegen, daß man das Lupenbild in voller Helligkeit sieht Also sei angenommen, daß das Auge an die richtige Stelle gebracht worden sei Das Bild, das man mit der Einstell-Lupe erblickt, ist das vom Okular (bzw vom Hokal) entworfene reelle Bild in der Ebene der unteren Glasfläche Mit freiem Auge ist nichts vom Bild zu sehen nur den Augenkreis des Okulars erblickt man als kleinen Lichtfleck durch die durchsichtige Glasscheibe Das Bild wird erst sichtbar, wenn man die Strahlen mit einer Linse auffängt und zu einem vergrößerten virtuellen Bild vereinigt Um das ganze Bild zu sehen, muß man die Lupe auf der Glasscheibe dem Bildfeld entsprechend herumschieben Es ist zu beachten, daß das Lupenbild nie so scharf sein kann wie ein gut eingestelltes Mattscheibenbild Das Lupenbild ist nämlich sechsmal stärker vergrößert als das Mattscheibenbild und ist deshalb stets verschwommen Es genügt jedoch dieses Bild leidlich scharf einzustellen (man wählt die am wenigsten unscharfe Einstellung) und erhält so bei der Aufnahme, wo das Bild sechsfach verkleinert wird die äußerste Scharfe Bei Aufnahmen also wo feine und feinste Strukturen abgebildet werden sollen d h bei starken Vergrößerungen bietet die Einstellung auf der Spiegelglasscheibe wesentliche Vorteile Bei Aufnahmen mit schwachen Vergrößerungen und auch überall wo Übersichtsbilder in einem großen



Abb 40  
Einstell-Lupe

Gesichtsfeld erwünscht sind, stellt man dagegen zweckmäßiger auf der Mattscheibe ein. Man kann natürlich auch beide Verfahren abwechselnd benutzen, indem man erst auf der Mattscheibe das ganze Sehfeld scharf einstellt und dann mit der Lupe die wichtigen Stellen noch genauer nachstellt. In den meisten

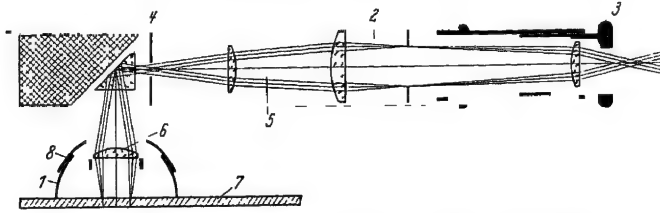


Abb 41 Die geknickte Einstell-Lupe der Firma C REICHERT

1 = Sockel, 2 = waagerechter Tubus, 3 = Augenlinse, 4 = Prisma, 5 = Strahlengang durch die Sammellinsen, 6 = kurzer senkrechter Tubus, 7 = Spiegelglasscheibe, 8 = Kugelgelenk

halbkugelförmigen Sockel, dann aus einem kurzen senkrechten und einem längeren waagerechten Rohr. In den Rohren sind die vier Sammellinsen so angeordnet, daß die divergenten Strahlen, welche aus der Austrittspupille des



Abb 42 Aufnahme mit starkem Vergrößerungsglas (Obj. ZEISS 40fach n. A. 0,65, kompl. Vergr. 325-fach (totaler Vergr.)) (Schnittpräparat Salamanderlarve, Schnittstärke 7,5  $\mu$ , Färbung Thiazinrot)

nicht der Fall, so treten im Bildfeld blaue Segmente auf als Zeichen dafür, daß die Lupe in die entgegengesetzte Richtung zu schwenken ist. Liegt z. B. das blaue Segment in der rechten Bildhälfte, so muß die Lupe nach links geschwenkt werden usw. Mit der geknickten Einstell-Lupe kann man das Bild in der Mattscheibenebene auch bei Vertikalkammern mit einem langen Auszug recht bequem scharf einstellen, während man sonst beim Gebrauch von geraden Einstell-Lupen zu diesem Zweck auf Treppen (s. S. 162) steigen muß.

Fallen wird man wohl so vorgehen.

Einer besonderen und vervollkommenen Form begegnet man bei der geknickten Einstell-Lupe

(Nr. 6225) der Firma C REICHERT, Wien (Abb. 41). Sie besteht aus einem

Mikroskops durch die Spiegelglasscheibe (Blankvisierscheibe) in den Sockel gelangen, einen konvergenten Strahlengang erhalten und vom Prisma in das waagerechte Rohr gelenkt, schließlich zu einem 4- bis 5fach vergrößerten Bilde vereinigt werden. Die Augenlinse ist am Ende des waagerechten Rohrs verschiebbar eingesetzt. Man stellt den Sockel auf die Mitte der Spiegelglasscheibe verschiebt die Augenlinse, bis das Strichkreuz scharf erscheint, und verstellt dann beim Aufsuchen der randaufnahmen Stellen die Lupe in ihrem Kugelgelenk so, daß die Achse des kurzen Vertikaltubus mit der Richtung der auf die betreffende Stelle fallenden Strahlen zusammenfällt. Ist das

Ist man dann mit der Beleuchtung und der Bildscharfe zufrieden gestellt, so setzt man an Stelle der Mattscheibe (Spiegelglas-Scheibe) die gefüllte Kassette, prüft nochmals, ob alle Klemmschrauben am Apparat richtig festgezogen sind und belichtet schließlich die Platte.

**41. Die Plattengröße.** Die Füllung der Kassette und die Behandlung der unbelichteten Platten erfolgt nach den allgemeinen Regeln der Photographie (s. dieses Handbuch Bd II). Hier soll also nur die Frage der geeigneten Plattengröße nahe erörtert werden. Geübte Photographen werden nach der Größe des Mattscheibenbildes rasch entscheiden können, welche Plattengröße für die Aufnahme in Betracht

kommt. Anfänger werden jedoch gut tun, wenn sie zunächst mit unbrauchbaren Negativen, von denen die Schicht in heißem Wasser abgelöst wurde, die geeigneten Plattenformen aussuchen. Man nimmt also gereinigte Negative der handelsüblichen Formen  $4\frac{1}{2} \times 6$ ,  $6 \times 9$ ,  $9 \times 12$ ,  $13 \times 18$  usw. und legt die durchsichtigen Platten auf das Mattscheibenbild. Die geeignete Plattengröße wird diejenige sein, bei welcher das Bildfeld auf der Platte gerade gut Platz findet, ohne vom Rand der Platte geschnitten zu werden.

Das Bildfeld, das man auf der Mattscheibe erhält, hat, je nachdem ob man die erforderliche Vergrößerung in der Hauptsache mit einem längeren Kameraauszug oder mit

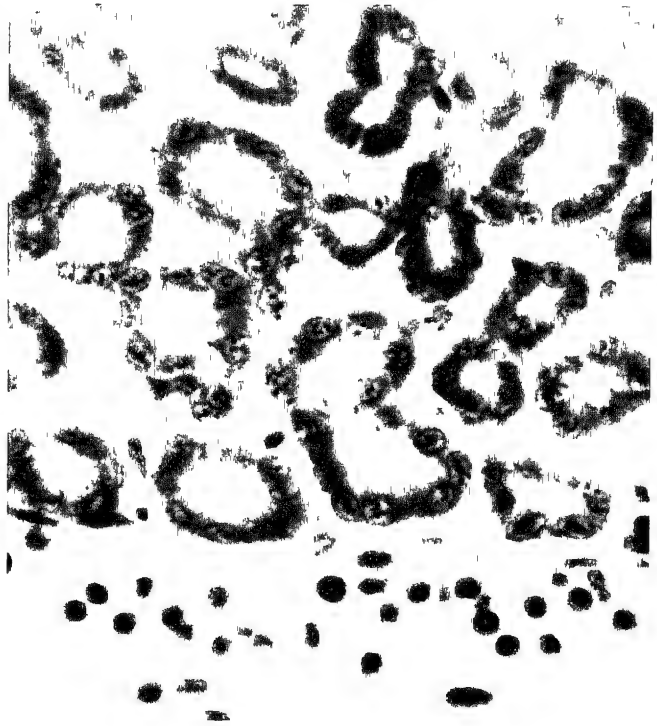


Abb. 43. Aufnahme mit schwachem Okular bei langem Kameraauszug. Obj. Z.I. 88, 40fach, n. A. 0,65, kompl. Ok. 3fach, Kameraauszug 61 cm. Bildvergr. 325 (tenderl. Vergr.). Präparat wie bei Abb. 42.

einem stärkeren Okular erzielt hat, entweder eine viereckige Form mit mehr oder weniger abgerundeten Ecken oder eine kreisrunde Form (Abb. 42 u. 43). Das viereckige Bildfeld erhält man, wenn man den Balg so weit auszieht, daß der Mittelteil des (kreisrunden) mikroskopischen Sehfeldes nach und nach die ganze Mattscheibe bzw. die Plattenfläche bedeckt. Aus früheren Erörterungen (s. S. 81) ist bereits bekannt, daß man eine solche Begrenzung nur bei Aufnahmen von Übersichtsbildern wählen wird. Ein kreisrundes Bildfeld erzielt man auf der Platte (Mattscheibe), wenn die Aufnahme mit einem kurzen Kameraauszug erfolgt, wenn also die erforderliche Vergrößerung hauptsächlich durch Okularvergrößerung erreicht wird. Bekanntlich hat eine starke Okularvergrößerung auch seine Nachteile (Verlust an Bildhelligkeit), obzwar wie früher schon erwähnt, der Sinusbedingung der Abbildung mit einer Okularvergrößerung stets besser entsprochen wird als mit einer Bildvergrößerung durch den Kameraauszug. Man verwendet

deshalb nur selten die stärksten Okulare<sup>1</sup> und wählt am besten eins von mittlerer Stärke (8fach oder 10fach). Die erforderliche Vergrößerung wird dann auch hier mit dem Kammerauszug erreicht, nur braucht man dazu nicht so große Kammerlängen wie dort, wo man die Bildvergrößerung hauptsächlich mit dem Kammerauszug erzielt. Dementsprechend wird das Bildfeld nicht die ganze Platte bedecken, bleibt aber auch nicht kreisrund, denn die Plattenränder schneiden dann auch hier aus dem Sehfeld mehr oder weniger große Randteile ab. Legt man Wert darauf, das ganze Sehfeld in der Aufnahme zu erhalten, so muß man, der gewünschten Bildvergrößerung entsprechend, Platten aussuchen, deren Kurzseiten mindestens so lang sind wie der Durchmesser des runden Bildfeldes. Ein Unterschied von einigen Millimetern spielt natürlich keine Rolle.

Große Plattenformen wählt man schon aus Sparsamkeitsgründen nicht, wenn man nicht unbedingt auf solche angewiesen ist. Die kleinen Vertikalkammern sind im allgemeinen so gebaut, daß die größte Plattenform  $9 \times 12$  ist. Mit Einlegerahmen von entsprechendem Ausschnitt kann man dann kleinere Formen, z. B.  $6 \times 9$  und  $4\frac{1}{2} \times 6$  verwenden. Für Aufnahmen mit größeren Platten als  $9 \times 12$  eignen sich nur die großen mikrophotographischen Apparate. Es sei dabei bemerkt, daß man für wissenschaftliche Zwecke nur ganz selten größere Aufnahmen als die Form  $9 \times 12$  braucht. Größere Platten kommen hauptsächlich dann in Betracht, wenn man 1. Übersichtsbilder von stark ausgedehnten Objekten anfertigt (z. B. von Schnittbildern ganzer Organe), 2. die Lichtbilder zu Lehrzwecken als Wandtafel benutzen will oder 3. durch Verkleinerung eine besonders scharfe drucktechnische Wiedergabe eines möglichst großen Bildes bezweckt. Sonst wird sich in den meisten Fällen die Frage nur darum drehen, ob man Platten  $9 \times 12$  oder kleinere Formate benutzen soll. Die Größe  $4\frac{1}{2} \times 6$  ist nur bei ganz geringer Kammerlänge, wie man sie bei den Aufsatzkammern zu treffen pflegt, gut zu gebrauchen. Bei einem etwas längeren Auszug wird der Randteil des Bildes schon bald von der Langsseite der Platte geschnitten. Es bleiben deshalb in der Hauptsache nur die Plattenformen  $9 \times 12$  und  $6 \times 9$  übrig, von denen man zu Übersichtsbildern vorteilhaft die Größe  $9 \times 12$  und zu starken Vergrößerungen bei einem kleineren Gesichtsfeld die von  $6 \times 9$  wählen wird. Wo der Plattenverbrauch groß ist und mit den Platten sparsam gewirtschaftet werden soll, kommt man auch allem mit dem billigeren Format  $6 \times 9$  gut aus. Zu Reproduktionszwecken in wissenschaftlichen Zeitschriften eignet sich die Größe der Bildfläche am besten, die man bei voller Ausnutzung einer  $6 \times 9$ -Platte erhalten kann. Falls man sich jedoch den Luxus von  $9 \times 12$ -Platten leisten kann, wird man besser verfahren, wenn man Mikrophotographien, die drucktechnisch vervielfältigt werden sollen, mit einer größeren Bildfläche auf diesen Platten aufnimmt und dann in kleinerer Form (etwa so groß, wie man sie auf einer  $6 \times 9$ -Platte erhalten würde) vervielfältigen läßt. Die Scharfe der Bildwiedergabe gewinnt dadurch ganz wesentlich.

Wieviel Kassetten man gefüllt vorrätig halten soll richtet sich nach den Probeaufnahmen (s. S. 95), die zur Bestimmung der Belichtungs- oder Entwicklungszeit erforderlich sind. Daß man bei Objekten und Plattenarten, die man auf ihre photographischen Eigenschaften geprüft hat, mit weniger Platten auskommen wird als dort, wo die diesbezüglichen Erfahrungen fehlen, ist selbstverständlich. Besonders bei Aufnahmen von lebenden Objekten muß man von vornherein mit einem stärkeren Verbrauch an Platten rechnen.

<sup>1</sup> Die Hönle haben trotz ihrer starken Lupenvergrößerung nicht die Nachteile der starken HUYGENSschen oder RAMSDENSchen Okulare.

## X. Die Belichtung und die Bestimmung der Belichtungszeit.

Was die technische Ausführung der Belichtung anbelangt, gelten auch hier die allgemeinen photographischen Vorschriften. Man öffnet also die Kassette und wartet noch einige Sekunden, bevor man belichtet, bis die Einrichtung nach einer durch das Öffnen der Kassette verursachten Erschütterung wieder in Ruhe kommt. Sollten aber während des Öffnens der Kassette stärkere Erschütterungen auftreten, so ist es besser, die Kassette zu schließen und von neuem auf der Mattscheibe zu prüfen, ob das eingestellte Bild noch an seinem früheren Platz in der gewünschten Einstellung geblieben ist. Falls alles in Ordnung ist, öffnet man nun den Verschuß<sup>1</sup> und belichtet, mit der Uhr in der Hand, eine bestimmte Zeit. Die Zeitdauer der Belichtung läßt sich am bequemsten und am sichersten mit einer Stoppuhr messen, die man zu Beginn der Belichtung in Gang setzt oder bei einer kurzen Belichtungszeit (1—4 Sekunden) schon früher laufen läßt, und mit der Belichtung erst beginnt, wenn der Zeiger bei einer bestimmten Ziffer (5, 10, 15 usw.) steht. Auch Taschenuhren mit Sekundenzeiger sind zu gebrauchen, doch ist die Ablesung an solchen Uhren etwas unbequem. Das Abzählen der Belichtungszeiten, wie vielfach üblich ist (eins- und zwanzig, zwei und zwanzig usw.) kann bei sehr geübten Photographen ebenfalls zum Ziele führen, im allgemeinen ist es jedoch für mikrophotographische Aufnahmen nicht zu empfehlen.

Die richtige Bemessung der Belichtungszeit und die damit verbundene Entwicklung der belichteten Platte sind ausgesprochen photographisch-technische Angelegenheiten, bei denen die Übung und Erfahrung, zum gewissen Teil auch eine besondere Begabung, entscheidend mitspielen. Ein geübter Photograph wird also schon nach der Helligkeit des Mattscheibenbildes ungefähr die nötige Dauer der Belichtung voraussagen können. Allerdings wird ein auf makroskopischem Gebiet noch so geübter Photograph mit der Belichtung mikrophotographischer Aufnahmen manche Enttäuschungen erleben, wenn er rein seinem Gefühl nach vorgeht, denn die vielen zarten Kontraste im mikro-kopischen Bild erfordern eine viel feiner und genauer abgestufte Belichtungs-kala, als man sonst in der Photographie anzuwenden pflegt. Es kann also viel Zeit, Arbeit und Plattenmaterial erspart werden, wenn man die geeignete Belichtungszeit für die Aufnahme durch eine Belichtungsreihe ermittelt.

**15 Die Belichtungsreihen.** Solche Belichtungsreihen kann man auf verschiedene Art erhalten. Am meisten verbreitet ist das Verfahren mit einer Kassette für Belichtungsreihen, wie sie die optischen Firmen zu den Apparaten nach Wunsch fertig liefern. Wo man über solche Kassetten nicht verfügt, kann man an dem Kassettenschieber 5 Marken anbringen: eine in der Mitte der Langsseite und beiderseits davon zwei weitere in gleichen Abständen<sup>2</sup>. So erhält man 5 Marken und 6 Teilungen, denen 6 Streifen der Platte entsprechen werden. Sei die innerste Marke (auf der Seite der Kassette, die dem Griff des Kassettenschiebers gegenüberliegt) mit V und die weiteren der Reihe nach mit IV, III, II und I bezeichnet, so werden nur die entsprechenden Streifen der Platte belichtet, wenn man die Kassette nach und nach bis zu den Marken V, IV, III, II, I und

<sup>1</sup> Bei Kohlenbogenlampen reguliert man knapp vor der Belichtung oder wartet ab, bis das Uhrwerk die Kohlen eben unreguliert hat und diese gleichmäßig hell brennen.

<sup>2</sup> Für Aufnahmen mit Belichtungsreihen eignen sich am besten die billigen kleinen Platten. Für die Größe  $4\frac{1}{2} \times 6$  paßt die Teilung in 6 Streifen zu je 1 cm gerade gut. Benutzt man aber zur Probenaufnahme größere Platten, so empfiehlt es sich, die Abstände der Marken bzw. die Breite der Streifen entsprechend größer zu wählen. Zu Platten von  $6 \times 9$  cm eignen sich Teilungen von  $1\frac{1}{2}$  cm Abstand am besten.



kann (Abb 45, 46 u 47) So einfach und verlaßlich auch die Methode ist, einen Nachteil hat sie doch, und zwar besteht dieser darin, daß die Ergebnisse nur dort gut zu verwerten sind, wo das photographische Bild einen großen Teil der Platte bedeckt. Ist aber das abzubildende Objekt im Verhältnis zum Sehfeld klein, wie z. B. einzelne Bakterien-, Protisten- und Gewebezellen usw., so wird das Bild des Objekts nur in einem oder zwei Streifen zu finden sein, möglicherweise gerade in solchen Streifen, deren Belichtungszeiten von der günstigsten entfernt liegen. In solchen Fällen muß man also die Methode an die Größe des Objekts anpassen oder andere Hilfsmittel suchen. So kann man z. B. die günstige Belichtungszeit für kleine Objekte mit einer speziellen Schiebekassette nach RODERICH ZEISS bestimmen oder mit Einlegeblenden. Das einfachste ist jedoch, daß man die Teilung der Kassette, mit der man bei großen Bildflächen die Belichtungsreihe erzielt, noch feiner unterteilt.

Hat man als Objekt eine einzige kleine Amöbe in der Mitte des Gesichtsfeldes, und will man mit der üblichen Belichtungsreihe die günstige Belichtungszeit ermitteln für eine Vergrößerung von etwa 100fach, so erhält man mit den fünf Marken in 1 cm Abstand eine Streifenfolge, in welcher das Bild der Amöbe wahrscheinlich zwischen dem dritten und vierten Streifen liegen wird. Selbst wenn die so ermittelte Belichtungszeit ein brauchbares Bild liefern sollte, läßt sich schwer entscheiden, ob mit einer etwas kürzeren oder

längeren Belichtung nicht doch bessere Resultate zu erzielen wären. Teilt man jedoch die drei mittleren Streifen (z. B. 3, 4 und 5) noch mal in sechs Teile, indem man den Abstand zwischen den Marken halbiert, so erhält man halb so breite Streifen



Abb 46 Aufnahme nach „ „ „ „ (Abb 45) bei 15 "



Abb 47 Aufnahme nach der Belichtungsreihe (Abb 45) bei 8 " Belichtungszeit



in doppelter Anzahl in der Mitte der Platte, und das Bild des Objekts wird jetzt nicht innerhalb zwei, sondern innerhalb vier Streifen liegen. Man hat demzufolge eine größere Auswahl in den Belichtungszeiten, was die Auswertung der Probeaufnahme wesentlich erleichtert. Wenn man also häufig von solchen kleinen Objekten Aufnahmen machen muß, wird man die Teilung der Kassette in der Mitte mit einer solchen Unterteilung versehen. Aus dem Mattscheibenbild läßt sich schon im voraus entscheiden, ob man die ganze Platte oder nur die feinere mittlere Teilung

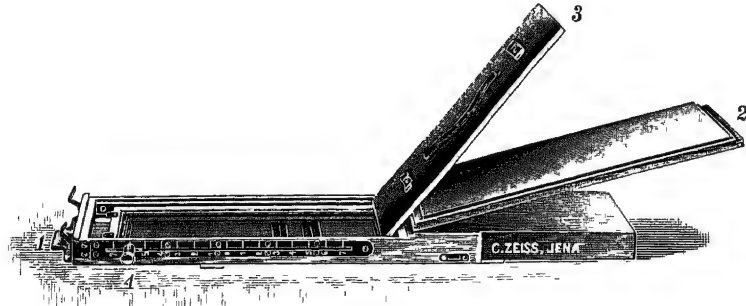


Abb 48 Schiebekassette (Aus der ZEISS-Druckschrift Mikio 314)

für die Belichtungsreihe benutzen soll. Ist das letztere der Fall, so beginnt man mit der Belichtung in der oben angegebenen Weise dort, wo die feinere Teilung anfängt, z. B. bei der Marke IV, und hört dann bei der Marke I auf. Daß die Platte bis zur Marke IV ebenfalls, und zwar so lange belichtet wird wie der erste Streifen der feineren Teilung, schadet nicht.

Die Schiebekassetten (Abb 48) nach R. ZEISS sind mit einer schmalen Spaltblende und mit einer Vorrichtung ausgerüstet, mittels welcher die Platte innerhalb der Kassette vor die Blendenöffnung geschoben werden kann. So

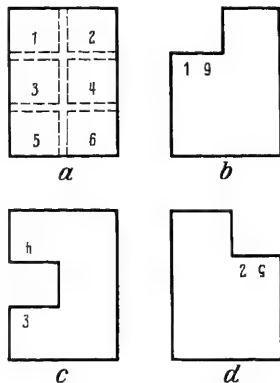


Abb 49 Einlegeblenden

a die sechs Felder der Bildfläche,  
b die Blende für die Felder 1, 6, 2,  
5 in der Stellung für das Feld 1,  
d dieselbe Blende nach rechts ge-  
dreht für das Feld 2, c die Blende  
für die Felder 3, 4

(Aus A. KÖHLER [8, S. 1727])

kann man denselben Streifen des Gesichtsfeldes nebeneinander auf derselben Platte mit verschiedenen Belichtungszeiten abbilden, wobei am besten die früher angegebene Belichtungsreihe mit sechs Stufen benutzt wird. Es ist nur zu beachten, daß es bei der Schiebekassette keine Rolle spielt, ob man mit der kürzesten oder längsten Belichtungszeit beginnt. Die Hauptsache ist, daß man die einzelnen Aufnahmen doppelt so lang belichten muß als bei Kassetten mit eingeteiltem Schieber, d. h. mit der ganzen Belichtungszeit, welche für die einzelnen Stufen angezeigt ist (bei einer Belichtungsreihe zwischen 2'' und 1' belichtet man also mit 1', 30'', 15'' usw.). Es wird nämlich in der Schiebekassette jeder Streifen für sich belichtet und dann wieder lichtdicht abgedeckt. Die Schiebekassetten, welche auch bei Stereoaufnahmen und Dreifarbenaufnahmen Verwendung finden, sind nur in Verbindung mit großen Kammer (Plattenformat 13×18) benutzbar, und schon aus diesem Grunde kommen sie für die kleinen Vertikalkammern nicht in Betracht.

Außer mit den Schiebekassetten kann man einzelne isolierte Bezirke des Gesichtsfeldes mit Hilfe von Einlegeblenden auf derselben Platte nebeneinander mehrmals aufnehmen. Die Form solcher Einlegeblenden ist in Abb 49 dargestellt. Wie aus der Abbildung ersichtlich, benutzt man zwei verschiedene

Formen, die dann bei verschiedenen Stellungen sechs Felder der Platte herausblenden. Die Blenden werden in die flache Vertiefung unterhalb der Kassette eingelegt, und zwar üblicherweise zuerst die Blende für die Felder 1, 6, 2 und 5. Nach jeder Aufnahme dreht man die Blende um, zuerst von links nach rechts, dann von oben nach unten und schließlich wiederum von links nach rechts. Auch hier wird jedes Feld für sich belichtet und die Kassette nach jeder Belichtung geschlossen und entfernt, damit man die Blende umstellen kann. Sind die ersten vier Aufnahmen erfolgt, so legt man die zweite Blende für die Felder 3 und 4 ein und macht noch zwei Aufnahmen, bei denen der Blendenausschnitt erst nach links und dann nach rechts gestellt wird. Je nachdem, welches Feld der Platte belichtet wird, muß man natürlich auch das Objekt verstellen, was das Verfahren ziemlich umständlich gestaltet. Am zweckmäßigsten ist es dabei, die Felder auf der Mattscheibe mit einem weichen Bleistift so zu umreißen, wie die Abb 49 zeigt, und dann in der angegebenen Reihenfolge das Objekt für die Felder einzustellen. Das bedeutet natürlich, daß man vor jeder Aufnahme die Mattscheibe von neuem auflegen und das Bild von neuem einstellen muß. Bei all diesen Umständen wird man lieber mit einer feineren Teilung des Kassettenschiebers sich behelfen, falls keine Schiebekassette vorhanden ist.

Die Belichtungsstärke, die zu einer Aufnahme erforderlich ist, läßt sich auch nach der Lichtintensität der Lichtquelle bestimmen. Da die Helligkeit der elektrischen Lichtquellen von der Belastung (von der Spannung oder Stromstärke) in hohem Maße abhängig ist, kann man die Belastung der Lichtquelle variieren und bei derselben Belichtungszeit mit abgestufter Belastung eine Belichtungsreihe erzielen. Das Verfahren, zu welchem eine einfache elektrometrische (Amperemeter und Voltmeter mit Schiebewiderstand) und eine improvisierte photometrische Einrichtung, schließlich auch die Schiebekassette erforderlich sind, kommt für die allgemeine mikrophotographische Praxis nicht in Betracht. Um so wichtiger ist es jedoch in allen Fällen, wo man die Empfindlichkeit der Platten genau bestimmen will (vgl. A. KOHLER [8, S. 1728]).

Wann und wie oft soll die Belichtungszeit mit einer Belichtungsreihe bestimmt werden? Die Antwort auf diese Frage lautet einfach: in jedem Fall, wo man eine mikrophotographische Aufnahme bei Mitwirkung irgendeines bisher noch nicht geprüften optischen Faktors ausführen muß, sei es eine noch nicht geprüfte Lichtquelle, eine neue Linsenfolge, eine zum erstenmal benutzte Plattensorte oder schließlich eine neue Art von Objekt. Der Anfänger wird in der ersten Zeit am besten vor jeder Aufnahme eine Belichtungsprobe in der geschilderten Weise ausführen und so die Erfahrungen sammeln, welche den geübten Mikrophotographen der allzu vielen Belichtungsproben entheben. Daß man mit der Zeit, wenn man ständig mit derselben Einrichtung und mit derselben Plattensorte arbeitet, die günstigen Belichtungszeiten für die verschiedenen Vergrößerungen und die verschiedenen Objekte auch ohne Belichtungsproben ungefähr richtig anzugeben lernt, versteht sich von selbst.

**46. Berechnung der Belichtungszeit.** Oft wird es vorteilhaft sein, die Belichtungszeit einer folgenden Aufnahme aus derjenigen einer früheren im voraus zu berechnen<sup>1</sup>. Dabei sei beachtet, daß die Beleuchtung  $B$ , gemessen durch den

<sup>1</sup> Eine rechnerische Methode zur Bestimmung der Belichtungszeit in der Photographic, wobei auch die Materialkonstanten der Plattensorte berücksichtigt werden, hat B. SCHULZE-NAUMBURG (1) angegeben, die jedoch für mikrophotographische Zwecke nicht unmittelbar zu verwenden ist.

Lichtstrom, der auf die Flächeneinheit des  $N$ -mal vergrößerten Bildes fällt, durch die Gleichung ausgedrückt werden kann

$$B = \pi H \cdot K \frac{a^2}{N^2} = \pi \cdot H \cdot K \frac{d^2}{f^2 N^2}, \quad (20)^1$$

wo  $H$  die Flächenhelligkeit der Lichtquelle in Hefnerkerzen,  $K$  eine Konstante, welche z. B. den Lichtverlusten Rechnung trägt,  $a$  die Apertur der Abbildung,  $d$  der Durchmesser der Leuchtfeldblende,  $f$  die Brennweite der Kondensorlinse und  $N$  den Abbildungsmaßstab bedeuten. Der Wert von  $B$  bedeutet die Beleuchtungsstärke des negativen Bildes in Lux- oder Meterkerzen, wenn die Flächenhelligkeit für das qcm in Hefnerkerzen bestimmt ist. Die Beleuchtungsstärke steht in umgekehrtem Verhältnis zur Belichtungszeit.

Nun beleuchtet man aber bei mikrophotographischen Aufnahmen nicht mit der Lichtquelle selbst, sondern, wie früher gezeigt wurde, mit einem Leuchtfeld, das von dem Kollektor und dem Kondensor in die Objektebene entworfen wird. In die Gl. (20) muß daher an Stelle der Flächenhelle der Lichtquelle  $H$  die Beleuchtungsstärke des von der Lampe, dem Kollektor und dem Kondensor des geheizten Leuchtfeldes  $B_1$  eingesetzt werden

$$B = \pi B_1 K \frac{a^2}{N^2} \quad (21)$$

Den Wert von  $B_1$  erhält man nach derselben Gleichung wie den von  $B$

$$B_1 = \pi H_1 K \frac{A^2}{N_1^2}, \quad (22)$$

wo  $H_1 K$  nun die Flächenhelligkeit der Lichtquelle,  $A^2$  das Produkt der Quadrate von der Apertur des Kollektors und des Kondensors, und  $N_1^2$  die Vergrößerung bedeutet, mit welcher die Lichtquelle bzw. die Öffnung der Leuchtfeldblende in der Objektebene abgebildet wird. Man kann also  $A^2$   $a_{\text{kol}}^2$   $a_{\text{kond}}^2$  schreiben oder, was hier zulässig und noch zweckmäßiger ist, man setzt statt  $A$  die Öffnungen der Leuchtfeld- und der Insblenden  $d$  und  $d_1$  dividiert durch die Brennweiten  $f$  und  $f_1$  der Kollektor- und der Kondensorlinsen ein, wodurch dann Gl. (22) die folgende Form erhält

$$B_1 = \pi H_1 K \frac{d^2}{f^2} \frac{d_1^2}{f_1^2} \frac{1}{N_1^2} \quad (23)$$

Führt man den so erhaltenen Wert von  $B_1$  in die Gl. (21) ein, so ergibt sich

$$B = \pi H_1 K \frac{d^2}{f^2} \frac{d_1^2}{f_1^2} \frac{a^2}{N_1^2 N^2} \quad (24)$$

In dieser Gleichung sind sämtliche Faktoren enthalten, die wir in früheren Erörterungen als entscheidend für die Beleuchtung kennengelernt haben, nämlich die Apertur der Beleuchtung mit den sie bestimmenden Blendeneöffnungen ( $d$  und  $d_1$ ) und Brennweiten ( $f$  und  $f_1$ ), die Apertur der Abbildung ( $a$ ), der Abbildungsmaßstab des Leuchtfeldes ( $N_1$ ) und des Bildes ( $N$ ) und schließlich die Intensität oder Flächenhelligkeit der Lichtquelle selbst. Die Konstante  $K$  trägt den Lichtverlusten Rechnung, die beim Durchgang des Lichtstroms durch verschiedene Medien entstehen und erhält wechselnde Werte erst dann, wenn man

<sup>1</sup> Vgl. A. KOHLER (8), S. 1730, Gl. (26) und (27), wo  $B$  die Beleuchtungsstärke des vom Kollektor gelieferten Bildes der Lichtquelle bedeutet und dem entsprechend  $a$  die Apertur,  $f$  die Brennweite des Kollektors darstellt. In der obigen Gl. (20) wurde der Inhalt der zitierten Gleichungen in einem allgemeineren Sinn ausgelegt, um Gl. (24) ableiten zu können. Der Gl. (26) von A. KOHLER entspricht in dieser Ableitung die Gl. (22).

verschiedene Lichtfilter benutzt. Wir finden demnach an der rechten Seite der Gl (24) drei Glieder, den drei Faktorengruppen entsprechend, von denen  $\pi H_1$ ,  $K$  über die Lichtquelle,  $\frac{d^2 d_1^2}{f^2 f_1^2 N_1^2}$  über die optischen Faktoren der Beleuchtung und  $\frac{\alpha^2}{N^2}$  über die für die Bildhelligkeit in Betracht kommenden Faktoren der Abbildung Aufschlüsse gibt. So läßt sich klar entnehmen, daß jede Änderung der mitwirkenden Faktoren die Beleuchtungsstärke des Bildes und im Zusammenhange damit die Belichtungszeit entscheidend beeinflussen wird, wobei schon die Änderung eines einzigen Faktors genügt — gleichgültig welchen —, um für die Belichtung wesentlich andere Verhältnisse zu erhalten. Wie weit man die Änderungen von  $K$  in Rechnung stellen muß, werden wir bei der Behandlung der Lichtfilterfrage näher kennenlernen. Angenommen, daß  $K$  einen konstanten Wert hat, ist es ohne weiteres klar, daß jede Schwankung im Wert von  $H_1$ , d. h. jeder Wechsel der Lichtquelle (bzw. bei elektrischen Lampen die Änderungen der Belastung) neue Beleuchtungsverhältnisse schaffen wird (s. auch S. 99). Erfolgen aber die Aufnahmen stets mit derselben Lichtquelle unter derselben Belastung, so wird in jedem Fall zu berücksichtigen sein, welche Werte den zwei übrigen Gliedern an der rechten Seite der Gl (24) zukommen. Aus der Gl (24) lassen sich auf diese Weise lehrreiche Aufschlüsse allgemeiner Art ablesen zur Beurteilung der Belichtungszeit bei verschiedenen Vergrößerungen und Linsenfolgen. Bei schwachen Vergrößerungen wird die Beleuchtungsstärke groß und die Belichtungszeit wesentlich kleiner als bei starken, da der Wert des 3. Gliedes  $\left(\frac{\alpha^2}{N^2}\right)$  vom Quadrat der Vergrößerung, und zwar im umgekehrten Verhältnis zu diesem abhängig ist. Beim Übergang von einer 100fachen Vergrößerung zu einer 200fachen kann man also bei sonst gleichen Verhältnissen mit einer Belichtungszeit rechnen, welche dem Quadrat der früheren entspricht. Hat man z. B. bei einer Aufnahme mit dem Achromat 8fach, periplanat Ok. 12fach und 40,3 cm Kammerauszug, d. h. bei 80facher Vergrößerung 4" lang belichtet, so wird man bei einer 160fachen Vergrößerung, die man rein durch Verlängerung des Kammerauszuges auf 57 cm erzielt, etwa 16" lang belichten müssen. Anders verhält es sich natürlich, wenn die Vergrößerung nicht bei derselben Linsenfolge rein durch den Kammerauszug, sondern mit einem stärkeren Objektiv erzielt wird<sup>1</sup>. Denn in diesem Fall wird auch die höhere Apertur des stärkeren Objektivs eine Rolle spielen. Wie im 3. Glied an der rechten Seite der Gl (24) ersichtlich ist, steht das Quadrat der Apertur mit der Belichtungsstärke in geradem und dementsprechend mit der Länge der Belichtungszeit in umgekehrtem Verhältnis. Daraus kann man also folgern, daß die Belichtungszeiten beim Wechseln der Vergrößerungen verschieden ausfallen werden, je nachdem, ob man die Vergrößerung durch Linsenwechsel oder durch Kameraauszug ändert. Im ersteren Fall wird man nicht mit so großen Unterschieden in den Belichtungszeiten rechnen müssen wie im letzteren. So braucht man bei einer 315fachen Vergrößerung, die man mit dem Achromat 40fach, Ap. 0,65, mit dem periplanat Ok. 12fach und mit einem Kammerauszug von 40 cm Länge erzielt, nur eine etwa 1,5mal so lange Belichtungszeit wie bei einer etwa 80fachen Vergrößerung bei derselben Okularvergrößerung und demselben Kammerauszug mit dem Achromat 8fach, Ap. 0,20. Wurde man durch den Kammerauszug allein eine entsprechende Vergrößerung des durch den Achromat 8fach gelieferten Bildes erstreben (was schon wegen des allzu langen

<sup>1</sup> Bei Okularwechsel wird die Belichtungszeit in ähnlicher Weise beeinflusst wie durch den Kameraauszug.

Kameraauszugs nicht zu verwirklichen ist), so mußte man ungefähr mit dem doppelten Wert des Quadrats der Belichtungszeit rechnen, die für die 80fache Vergrößerung notwendig war

Der Einfluß der Objektivapertur auf die Belichtungszeit erhält auch aus dem folgenden Beispiel. Man hat eine Aufnahme bei 80facher Vergrößerung in der schon geschilderten Weise erzielt (Obj.-Achrom. 8fach, Ap. 0,20, periplanat Ok. 12fach, Kameraauszug 40 cm), nun geht man auf die stärkere Vergrößerung 315fach über mit dem Obj.-Achrom. 40fach, Ap. 0,65, unter sonst gleichbleibenden Bedingungen. Die Änderung in der Belichtungsstärke wird, falls alle sonstigen Faktoren unverändert geblieben sind, durch die Gleichung gegeben sein

$$\frac{a_1^2}{N_1^2} : \frac{a_2^2}{N_2^2} = \frac{0,20^2}{80^2} : \frac{0,65^2}{315^2} \quad (25)$$

Führt man die Rechnung durch, so ergibt sich, daß die Belichtungsstärken ungefähr in einem Verhältnis stehen wie 3 : 2, d. h. daß die Belichtungsstärke des 315mal vergrößerten Bildes 1,5mal geringer ist als die des 80mal vergrößerten. Hat man das letztere Bild mit 4'' belichtet, so wird für das 315fach vergrößerte eine Belichtungszeit von 6'' entsprechen. Man kann jedoch eine ungefähr gleiche, und zwar 325fache Vergrößerung auch mit dem Apochromat 4 mm 40fach und unter sonst ungeänderten Verhältnissen erzielen. Die Apertur dieses Objektivs beträgt aber 0,95, und dem höheren Wert der Apertur entsprechend wird jetzt die Belichtungszeit wesentlich kürzer sein als bei dem Achromat von derselben Einzelvergrößerung. Die Gl. (25) wird nämlich jetzt für die Aperturen die folgenden Werte erhalten

$$\frac{a_1^2}{N_1^2} : \frac{a_2^2}{N_2^2} = \frac{0,20^2}{80^2} : \frac{0,95^2}{315^2} \quad (26)$$

(wo einfachheitshalber der kleine Unterschied zwischen 315 und 325 unberücksichtigt geblieben ist)

Nach Durchführung der Rechnung stellt es sich heraus, daß jetzt die Beleuchtungsstärke des stärker vergrößerten Bildes etwa 1,5mal größer ist als die des schwach vergrößerten. Man mußte dementsprechend mit einer um das 1,5fache kürzeren Belichtungszeit auskommen als früher beim 80fach vergrößerten Bild (nicht ganz 3'' statt 4'')

Dieser Einfluß der höheren Apertur auf die Belichtungszeit muß stets berücksichtigt werden, wenn man Apochromate benutzt. Im allgemeinen wird man bei Apochromaten mit einer kürzeren Belichtungszeit rechnen als bei Achromaten von derselben Einzelvergrößerung und natürlich ebenso, wenn man Immersionslinsen statt Trockensystemen von derselben Einzelvergrößerung benutzt. Man darf jedoch nicht vergessen, daß bei Aufnahmen mit verschiedenen Vergrößerungen nicht nur der Wert von  $a$  und dementsprechend der des dritten Gliedes Unterschiede aufweisen wird, sondern auch das zweite Glied der Gl. (24) wechselnde Werte erhalten muß. Die in dem vorangegangenen Beispiel durchgeführte Berechnung der Belichtungszeit hat, wie oft betont wurde, nur dann ihre Gültigkeit, wenn beim Übergang von einer schwachen zu einer stärkeren Vergrößerung tatsächlich nur die Apertur der Abbildung geändert wird, die Beleuchtung jedoch unverändert bleibt. Das wird jedoch kaum oder nur in den seltensten Fällen vorkommen, da die Bedingungen der erforderlichen Beleuchtung bei schwachen Vergrößerungen andere sind als bei den starken. Man muß dann auch noch mit der Beschaffenheit der Präparate rechnen, denn je nachdem, ob man eine kontrastarme, ungefärbte, lebende Struktur oder ein kontrastreiches, fixiertes und gefärbtes Präparat abbilden will,

wird man die Blenden mehr oder weniger verengern und die Apertur der Beleuchtung entsprechend herabsetzen müssen (s S 22). Bei all diesen der Natur des aufzunehmenden Bildes angepaßten Änderungen in der Beleuchtung wird selbstverständlich auch der Wert des zweiten Gliedes an der rechten Seite der Gl (24) modifiziert (vgl die Belichtungszeiten bei den Abb 45, 46 u 47 mit denen bei Abb 50 u 51). Die Gl (24) ist vor allem deshalb von praktischem Wert, weil man sich danach am raschesten orientieren kann, wieweit die Belichtungszeit sich ändern wird, wenn man nach einer Probebelichtung am Kameraauszug, an den Blendenöffnungen oder sonst an irgendeinem Faktor der Beleuchtung noch etwas ändern muß. Werden aber von einer Aufnahme zu anderen mehrere Faktoren gleichzeitig geändert, so empfiehlt es sich, wie das auch bei den Ausnahmen Abb 45 u 50 geschehen ist, viel eher eine neue Belichtungsreihe zu machen, als die Belichtungszeit mit Hilfe der Gl (24) aus einer früheren Aufnahme zu berechnen. Will man sich die allzu vielen Probebelichtungen und die damit verbundene photographisch-technische Arbeit ersparen, so wird man am besten die Belichtungszeit der folgenden Aufnahme mit Hilfe des Be-

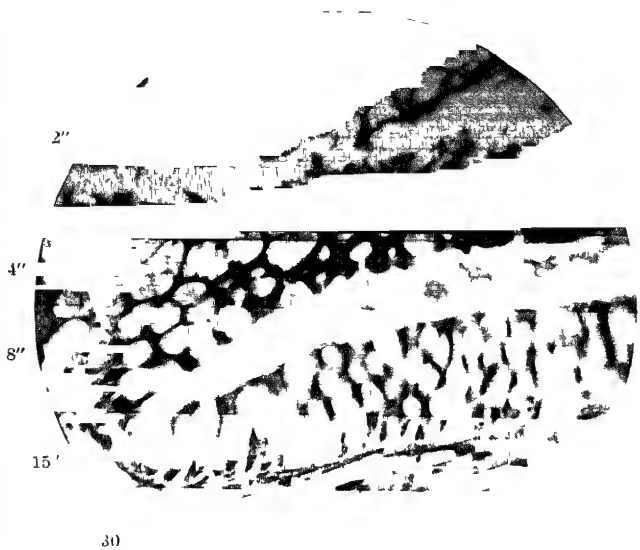


Abb 50. Belichtungsreihe von 2'' bis 15'' (der Streifen für die Belichtungszeit 1'' lag schon nicht mehr im Bildfeld). Bei 2'' Überbelichtung, bei 4'' schon Unterbelichtung. Obj. ZEISS 40fach n A 0,65, Kompl. Ok. 3fach, Kammerlänge 40 cm, Azolampe, Apl. Kondensor 1,1, Irisblende bei Teilst. 20. Kollektorblende ohne Mattscheibe und Grünfilter (SCHOFF), Agfa-Chromo-Isorapid. Metol Hydrochinon 1:5 (3 Minuten).  
Salamandarlarve, knorpelige Wirbelsäule und Flossen. Färbung: Fischhautoxalin-Chlazinrot.

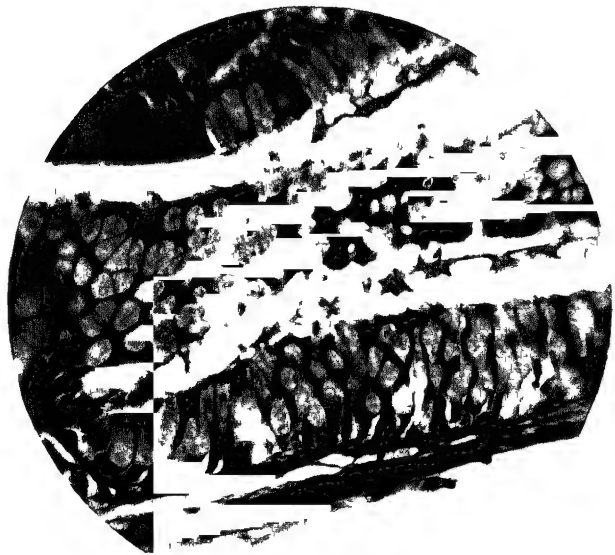


Abb 51. Aufnahme nach der Belichtungsreihe (Abb 50) bei 3'' Belichtung.

lichtungsstabes aus der früheren ermitteln. Da jedoch zum Verständnis des Belichtungsstabes Grundbegriffe der Photochemie notwendig sind, soll die Berechnung der Belichtungszeit mit dem Belichtungsstab erst im nächsten Abschnitt geschildert werden, wo im Zusammenhang mit dem Entwicklungsvorgang auch die photochemischen Grundbegriffe, namentlich der Begriff des SCHWARZSCHILD'schen Exponenten, erörtert werden.

Es gibt auch Fälle, wo statt der üblichen Belichtungsreihe eine mit kleineren Zeitintervallen vorteilhafter ist. Solchen Fällen begegnet man hauptsächlich bei Aufnahmen von beweglichen oder veränderlichen Objekten (Momentaufnahmen) und auch bei schwierigen Objekten, wo der Kontrast zwischen der Struktur und dem Hintergrund so gering ist, daß kleine Unterschiede von 1—2'' in der Belichtungszeit die Güte der Aufnahmen entscheidend zu beeinflussen vermögen. Man wird z. B. bei der Darstellung von Feinstrukturen in lebenden oder fixierten Zellen merkbare Unterschiede in der Kontrastwirkung finden, je nachdem, ob man 1—2'' länger oder kürzer belichtet hat. Am besten gelangt man dann zum Ziel, wenn man zuerst mit der üblichen Belichtungsreihe (d. h. immer mit dem doppelten Wert der früheren Belichtungszeit) ungefähr die günstigste Belichtungszeit, z. B. bei 4'', ermittelt und dann mit einer zweiten, diesmal stufengleichen Reihe von Zeitintervallen die für die Kontrastwirkung geeignete Belichtung genauer bestimmt. Hat man also die richtige Belichtung ungefähr bei 4'' gefunden, so macht man die zweite Belichtungsreihe mit 1, 2, 3, 4, 5, 6'' und wird z. B. finden, daß die Aufnahme bei 3'' Belichtung den Anforderungen am besten entspricht (Abb. 50 u. 51).

Nachdem so die richtige Belichtungszeit gefunden wurde, wechselt man die Platte und erzielt dann die endgültige Aufnahme. Nach der Belichtung schließt man zuerst den Verschuß der Kamera oder man schirmt das Mikroskop mit dem schwarzen Karton wieder ab, schiebt den Kassettenschieber in die Kassette ein und sorgt dafür, daß die Lampe bei geringer Belastung brennt. Es wird dann oft von Nutzen sein, wenn man nach der Aufnahme noch einmal das Mattscheibenbild betrachtet und sich überzeugt, ob während der Aufnahme an der Einstellung sich nichts geändert hat. Es soll auch als Regel gelten, daß man weder am Mikroskop noch an dem Präparat etwas ändert, bis man die Aufnahme auf der Platte geprüft hat. Laßt die Aufnahme noch etwas zu wünschen übrig, so ist sie leichter zu wiederholen, wenn die ganze Anordnung unverändert geblieben ist. Schon aus diesem Grunde empfiehlt es sich, das negative Bild gleich nach jeder Aufnahme zu entwickeln.

## XI. Allgemeines über das Negativverfahren in der Mikrophotographie.

Das Ergebnis der Belichtung ist das sog. latente Bild auf der photographischen Platte, das photochemische Produkt des vom Objekt durchgelassenen oder reflektierten Lichtes in der lichtempfindlichen Schicht.

Die photochemischen Vorgänge, welche das latente Bild erzeugen, sind im Bd. 5 dieses Handbuchs eingehend geschildert worden, ebenso die theoretischen und praktischen Gesichtspunkte bei der Handhabung der Negative. Was also die Wahl der Entwickler und Fixierer, die Entwicklungsdauer und Nachbehandlung der Platten betrifft, sei auf die betreffenden Abschnitte dieses Handbuchs verwiesen (vgl. auch J. DAIMLER [1] und H. PETERSÉN [6]). Da man jedoch die Mikrophotographie nur dann vollkommen beherrschen kann, wenn man über die Entstehung des Lichtbildes, von der Einstellung des Präparats bis zur Anfertigung der Abzüge eine einheitliche Vorstellung gewonnen hat, wenn

man also die logischen Zusammenhänge zwischen Objektstruktur und mikroskopischem Bild, zwischen diesem und dem Mattscheibenbild und schließlich zwischen dem auf die lichtempfindliche Platte entworfenen Bild und seinem photochemischen Äquivalent, dem Negativ, genau kennt, so wollen wir auch hier einige grundsätzliche Fragen mit Rücksicht auf die Forderungen der Mikrophotographie etwas ausführlicher behandeln.

**47. Das BUNSEN-ROSCOE'sche Gesetz und der SCHWARZSCHILD'sche Exponent.** Das Endergebnis eines photochemischen Vorgangs ist bekanntlich von der Intensität der Lichtwirkung und von ihrer Dauer abhängig (BUNSEN-ROSCOE'sches Gesetz). Diese gesetzmäßige Abhängigkeit wurde schon bei der Aufstellung unserer Belichtungsreihen berücksichtigt, wo die Stärke der Belichtung gleichbleibend, die Dauer der Belichtung jedoch nach einer Belichtungsreihe abgestuft war<sup>1</sup>. Der von dem BUNSEN-ROSCOE'schen Gesetz abhängige photochemische Vorgang erzeugt jedoch nur das latente, nicht aber das negative Bild. Dieses letztere ist vielmehr von den Wechselwirkungen abhängig, welche zwischen den in der lichtempfindlichen Schicht bei der Strahlung entstandenen „Keimen“ und der reduzierenden Flüssigkeit während der Entwicklung auftreten und die Schwarzung der belichteten Stellen hervorrufen. Für das Zustandekommen des Lichtbildes ist begreiflicherweise die Schwarzung der Platte das wichtigste. So muß man vor allem die Faktoren dieses Vorganges ermitteln und feststellen, ob die Verteilung von Licht und Schatten, d. h. die Schwarzung am Negativ, dem BUNSEN-ROSCOE'schen Gesetz entsprechend genau von der Belichtung abhängig ist, oder ob nicht auch besondere Eigenschaften der lichtempfindlichen Schicht und der Entwickler die Schwarzung in besonderer Weise beeinflussen. Tatsächlich entspricht der Grad der Schwarzung auf den photographischen Platten dem BUNSEN-ROSCOE'schen Gesetz nicht ganz genau. Im Sinne dieses Gesetzes mußte nämlich die Gleichung gelten

$$B_1 t_1 = B_2 t_2 \quad (27)$$

oder mit Worten: das Ergebnis des photochemischen Vorgangs mußte stets dasselbe bleiben, wenn das Produkt aus der Länge der Belichtung und der Stärke der Beleuchtung denselben Wert aufweist. Das ist jedoch nicht der Fall. Wenn man in der einen Belichtungsreihe nur die Zeitdauer, in einer zweiten aber nur die Stärke der Beleuchtung ändert, so findet man stets einen Unterschied zwischen den entsprechenden Schwarzungsstufen (Gradation) der zwei Belichtungsreihen. Am besten wird der Unterschied bemerkbar, wenn man das Ergebnis der Belichtungsreihen auf ein Koordinatensystem aufträgt, und zwar die Grade der Schwarzung photometrisch oder sensitometrisch gemessen auf der Ordinate, die Logarithmen der Belichtungszeiten oder Beleuchtungsstärken aber auf der Abszisse. Man wird dann im selben Koordinatensystem zwei Schwarzungskurven erhalten (Abb. 52), eine Intensitätskurve und eine Zeitkurve. Die etwas verschieden verlaufenden Kurven schneiden sich in einem Punkt, und zwar dort, wo die Beleuchtungsstärke  $B$

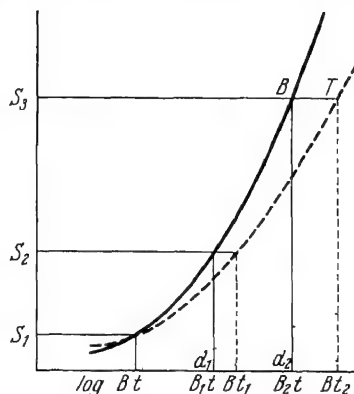


Abb. 52. Schwarzungskurven (Schema).  $B$  = Intensitätskurve,  $T$  = Zeitkurve. An die Ordinate sind die Schwarzungen, an die Abszisse die Belichtungen aufgetragen. (Aus A. KÖHLER [5, Abb. 890, S. 1753].)

<sup>1</sup> In anderen Fällen (S. S. 99) kann die Dauer der Belichtung konstant bleiben und die Beleuchtungsstärke ausgedrückt durch die Belastung der elektrischen Lampe, weil für zwei verschiedene



und die Belichtungszeit  $t$  diejenigen Werte zeigen, welche in der einen Belichtungsreihe für  $B$ , in der anderen für  $t$  gleichbleibend waren. Von diesem Punkt aus weichen die Kurven nach rechts und links voneinander ab, und es zeigt sich, daß man den gleichen Grad der Schwarzung in der Intensitätskurve früher erreicht als in der Zeitkurve. Der Unterschied läßt sich durch eine Zahl ausdrücken, die man als Exponent in der Gleichung des BUNSEN-ROSCOE'schen Gesetzes einführt und daher als den SCHWARZSCHILD'schen Exponenten  $p$  zu bezeichnen pflegt. So erhält man bei der Schwarzung photographischer Platten an Stelle der Gleichung des BUNSEN-ROSCOE'schen Gesetzes die folgende Gleichung

$$B_1 t_1 = B_2 t_2^p \quad (28)$$

Die Zahl  $p$  ist stets kleiner als 1. Ist sie gleich 1, so hat man die Gleichung des BUNSEN-ROSCOE'schen Gesetzes vor sich. Der Wert des SCHWARZSCHILD'schen Exponenten ist von der Plattensorte abhängig, bei ein und derselben Plattensorte aber so gut wie konstant. Sein Wert schwankt je nach der Plattensorte zwischen 0,95 und 0,65.

Der SCHWARZSCHILD'sche Exponent ist vor allem dann zu berücksichtigen, wenn man auf der photographischen Platte photometrische Untersuchungen vornimmt, oder wenn man bei schwierigen Objekten die Belichtungszeit oder die Beleuchtungsstärke nach der Formel  $B_1 t_1 = B_2 t_2^p$  im Voraus bestimmen will. Uns interessiert jedoch die Zahl  $p$  hier hauptsächlich deshalb, weil man daraus die komplizierten Zusammenhänge zwischen den photochemischen und photo-technischen Wirkungen in der lichtempfindlichen Schicht am deutlichsten wahrnimmt. Wir sehen, daß die photochemische Arbeit, welche bei der Hervorbringung des latenten Bildes durch die Belichtung in der lichtempfindlichen Schicht geleistet wird, Unterschiede aufweisen kann, je nachdem, ob mehr Lichtenergie in kürzerer Zeit oder weniger Lichtenergie in einer entsprechend längeren Zeit auf das lichtempfindliche Bromsilber einwirkt. Der Unterschied in der Schwarzung der belichteten Stellen läßt sich bei gleichartiger Entwicklung nur dadurch erklären, daß im ersteren Fall sich die Kerne rascher ausbilden als im letzteren. Mit dieser Eigentümlichkeit des photochemischen Vorganges in der lichtempfindlichen Schicht muß man stets rechnen, wenn man überlegt, ob man die Kontrastwirkung im Bild durch Steigerung der Beleuchtungsstärke oder durch längere Belichtung erreichen soll. Ist der SCHWARZSCHILD'sche Exponent der benutzten Plattensorte 0,95, d. h. fast 1, so wird es in der Praxis kaum einen Unterschied ausmachen, welchen Weg man verfolgt. Ist dagegen  $p = 0,65$ , so wird man bei Steigerung der Beleuchtungsstärke (innerhalb bestimmter Grenzen) härtere Bilder erzielen als bei geringerer Lichtintensität mit einer längeren Belichtung. Besonders in solchen Fällen, wo man an kurze Belichtungszeiten gebunden ist, wie z. B. bei beweglichen oder veränderlichen Objekten, ist es gut zu wissen, daß, falls man bei der zulässigen kurzen Belichtungszeit ( $t_2$ ) mit der gegebenen Helligkeit der Lichtquelle ( $B_2$ ) noch keine guten Kontraste (Gradation) erreichen konnte, diese mit einem stärkeren Licht ( $B_1$ ) und der entsprechend kürzeren Belichtungszeit ( $t_1$ ) erreicht werden können.

Man hat z. B. eine Punktlichtlampe 2 G (Flächenhelle 150 HK) und die Aufnahme soll bei einer bestimmten stärkeren Vergrößerung und einer bestimmten Plattensorte mit oder unterhalb 8" erfolgen. Angenommen, daß die Belichtung mit 8" keine günstigen Kontraste ergibt, so wird man die gewünschte Kontrastwirkung in einer zweiten Aufnahme wieder erhalten, wenn man an Stelle der 2 G-Lampe eine Punktlichtlampe 4 G (Flächenhelle 350 HK) aufstellt und für diese die Belichtungszeit  $t_1$  aus der Gleichung  $B_1 t_1 = B_2 t_2^p$  berechnet. In unserem Beispiel sei  $p = 0,65$ ,  $B_1 = 350$ ,  $B_2 = 150$  und  $t_2 = 8''$ . Man erhält dann nach der Gleichung

$$\begin{aligned}
 \log B_1 - \log B_2 &= p(\log t_2 - \log t_1) \\
 \log 350 - \log 150 &= 0,65(\log 8 - \log t_1) \\
 \log t_1 &= \frac{0,65 \log 8 + \log 150 - \log 350}{0,65} \\
 t_1 &= 2,25'' \quad (29)
 \end{aligned}$$

Man erhält demnach bei einer Punktlichtlampe 4 G mit 2,25'' Belichtungszeit und bei sonst gleichen Verhältnissen denselben Grad der Schwarzung, wie bei einer Punktlichtlampe 2 G mit 8'' Belichtungszeit, exponiert man also etwa 3'' lang, so wird man die gewünschte kraftigere Schwarzung der belichteten Stellen erhalten.

**48. Der Belichtungsstab.** Zur Berechnung der Belichtungszeit einer Aufnahme aus einer anderen benutzt man am vorteilhaftesten den Belichtungsstab, wie er von A KOHLER (8, S 1877) angegeben wird<sup>1</sup>. Da bei der Handhabung des Belichtungsstabes der SCHWARZSCHILDsche Exponent eine wesentliche Rolle spielt, muß man seinen Wert für die benutzte Plattensorte kennen. Ist das der Fall, so wird man mit Hilfe des Belichtungsstabes in kurzer Zeit, ohne auf Logarithmentafeln angewiesen zu sein, die gewünschten Belichtungszeiten genau bestimmen können, wenn die Belichtungszeit einer früheren Aufnahme bekannt ist.

Die mathematische Grundlage für die Konstruktion des Belichtungsstabes, welcher dem Wesen nach eine besondere Art des Rechenschiebers darstellt, ergibt sich aus einer Gleichung, welche aus den Gl (20) und (28) abgeleitet ist<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 p \log t_2 &= p \log t_1 + 2 \log d_1 - 2 \log d_2 + 2 \log f_2 \\
 &\quad - 2 \log f_1 + 2 \log N_2 - 2 \log N_1 + z_1 \log r - z_2 \log r \quad (30)
 \end{aligned}$$

In dieser Gleichung sind die Belichtungszeiten  $t_1$  und  $t_2$  mit den Blendendurchmessern  $d_1$  und  $d_2$ , den Brennweiten der Kondensoren  $f_1$  und  $f_2$ , den Vergrößerungen  $N_1$  und  $N_2$  und schließlich mit der im optischen System gegebenen Anzahl von Reflexionsflächen  $z_1$  und  $z_2$  enthalten. Mit Ausnahme von  $z$  und  $r$  sind alle diese Faktoren entweder schon bekannt oder leicht zu ermitteln. Den Wert von  $r$ , der stets etwas kleiner als 1 ist, braucht man im Voraus nicht zu kennen, denn die Werte von  $\log r$  sind unmittelbar auf dem Belichtungsstab angegeben. Den Wert von  $z$  enthält man am besten, wenn man mit den zwei zu vergleichenden Objektsystemen bei gleicher Vergrößerung, d. h. bei verschiedener Kameralänge, aber unter sonst denselben Versuchsbedingungen, eine Belichtungsprobe vornimmt. Die erste Aufnahme macht man mit dem schwächeren System, und zwar bei einer Belichtungszeit  $t_1$ , die ein etwas unterexponiertes

<sup>1</sup> Ähnliche gute Dienste leistet auch der Universal PERUTZ-Belichtungsmesser von der Firma O. PERUTZ, München. Auch der OSRAM Belichtungsmesser, ein Fettelekphotometer mit Vergleichslicht (vgl. A. HAY [1]) konnte in angepaßter Form zur Messung der Beleuchtungsstärke dienstbar gemacht werden.

<sup>2</sup> Bei der Ableitung der Gl (30) wird die Gl (20)  $B = HK \frac{d^2}{f^2} A^2$  in etwas anderer Form als  $B = \left( \frac{a}{\lambda} \right)^2 r^z E$  geschrieben, wo  $E$  ein Integralwert der Flächenhelle  $H$  für verschiedene Wellenlängen und  $r$  statt  $K$  den Reflexionsverlust darstellt, welcher an  $z$  Reflexionsflächen des optischen Systems auftritt ( $r$  ist nur einer der integrierenden Bestandteile von  $K$  nämlich derjenige, welcher dem Lichtverlust durch Reflexion entspricht). Der zweite Komponent, der den Verlust durch Absorption ausdrückt,  $a$  ist schon im Integral  $E$  eingebunden, denn  $E = \int a dH$ . Setzt man für die Berechnung der gesuchten Belichtungszeit  $t_2$  aus einer schon bekannten  $t_1$  laut Gleichung  $t^p = \frac{B_1}{B_2}$  die Werte von  $B_1$  und  $B_2$  ein, so erhält man schließlich für  $t_2$  bzw.  $p \log t_2$  die Gl (30).

Bild liefern soll. Die weiteren Aufnahmen erfolgen mit dem stärkeren System und bei steigenden Belichtungszeiten  $t_1, t_2, t_3$  usw., die man in der gleich zu schildernden Weise mit dem Belichtungsstab ermittelt. Hat man die Belichtungsreihen entwickelt und fixiert, so vergleicht man die Schwarzung der Streifen mit derjenigen der ersten Aufnahme und sucht den Streifen aus, dessen Schwarzung der ersten Aufnahme am ehesten entspricht. War dieser z. B. mit der Belichtungszeit  $t_3$  aufgenommen worden, so wird man den Wert von  $z_2$ , d. h. die Anzahl der Reflexionsflächen im stärkeren System, auf dem Belichtungsstab ablesen können dort, wo der Zeigerstrich stand, als man die Belichtungszeit  $t_3$  gefunden hat.

Der Belichtungsstab (Abb. 53) besteht aus zwei festen Linealen und einem zwischen diesen beiden verschiebbaren, die auf beiden Seiten im ganzen zwölf verschiedene Teilungen aufweisen. Ein Laufer mit einem Zeigerstrich ist

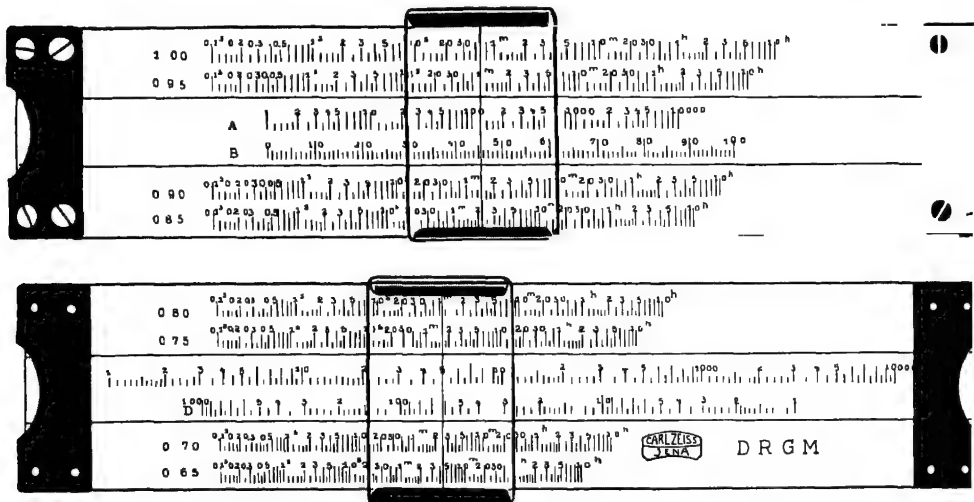


Abb. 53 Der Belichtungsstab von beiden Seiten (Aus ZEISS-Druckschnitt Mikro 103)

wie bei den üblichen Rechenschiebern über den Teilungen angebracht. Die zwei festen Lineale zeigen den Wert  $p \log t$  für die Belichtungszeiten zwischen  $t = 0,1$  Sekunden und 10 Stunden an, und zwar in acht verschiedenen Skalen für die verschiedenen Werte des SCHWARZSCHILD'schen Exponenten von 1 bis 0,65. Das mittlere verschiebbare Lineal enthält die Teilungen A, B, C, D, je zwei an einer Seite des Lineals. A stellt eine Teilung dar, welche die Logarithmen der Zahlen von 1—10000 zeigt, wobei die Strecken der Teilung den Logarithmen entsprechen, während die Teilstriche mit den Nummern bezeichnet sind. Teilung B stellt eine Skala dar, wo jeder Abstand zwischen zwei Teilstrichen dem Wert von  $\log r = \log 0,9$  entspricht. Auf der anderen Seite zeigt die Teilung C den doppelten Wert der Logarithmen von den Zahlen 1—10000, und zwar so, daß die Teilstriche mit den Quadratwurzeln der Nummern bezeichnet sind. Teilung D zeigt dasselbe wie Teilung C, nur mit dem Unterschied, daß die Nummerierung der Teilstriche in entgegengesetzter Richtung erfolgt wie bei den übrigen, und die Skala nur von 1 bis 1000 reicht.

Hat man also eine gute Aufnahme bei einer 250fachen Vergrößerung mit der Belichtungszeit  $t_1 = 30''$  erzielt, und waren die Werte von  $d_1 = 8 \text{ mm}$ ,  $f_1 = 36 \text{ mm}$  und  $z_1 = 7$ , so wird man die Belichtungszeit  $t_2$  für eine Aufnahme von einem ähnlichen Präparat bei 900facher Vergrößerung mit dem Belichtungsstab folgendermaßen

finden, wenn bei der Aufnahme  $d_2 = 5 \text{ mm}$ ,  $f_2 = 10,5 \text{ mm}$ ,  $z_2 = 11$  und der SCHWARZSCHILDSche Exponent der in beiden Fällen benutzten Plattensorte  $= 0,90$  ist. Man stellt den Zeigerstrich des Laufers auf den Teilstrich ein, wo an der Teilung für  $p = 0,90$  die Belichtungszeit  $t_1 = 30''$  steht. Nach Gl. (30) muß dazu noch  $2 \log d_1$  hinzugeechnet und  $2 \log d_2$  von der Summe abgezogen werden. Man findet diese Werte auf dem verschiebbaren Lineal auf der Teilung  $D$ . Durch Verschieben dieses Lineals stellt man also den Teilstrich 8 unter den Zeigerstrich, der in diesem Moment noch bei der Teilung 0,90 auf  $30''$  eingestellt ist, und schiebt dann den Laufer mit dem Zeiger auf den Teilstrich 5 der Teilung  $D$ . Nun soll noch  $2 \log f_1$  zu- und  $2 \log f_2$  abgezahlt werden. Diese ermittelt man auf der Teilung  $C$  (am beweglichen Lineal), indem man die Stelle, welche auf der Teilung  $C$  36 bzw. 35 entspricht, zuerst unter den Zeigerstrich stellt und dann mit dem Laufer den Teilstrich 10,5 (die Mitte zwischen den Teilstrichen 10 und 11) auf der Skala  $C$  aufsucht. Ebenso erfolgt die Einstellung des Belichtungsstabes den Vergrößerungen 250 und 900 entsprechend. Beide Werte findet man mit Hilfe der Teilung  $C$ , und zwar so, daß man den Wert der Vergrößerung der früheren Aufnahme (in diesem Fall 250) durch Verschiebung des beweglichen Lineals, die Vergrößerung aber, auf die man übergehen will (900), durch Verschiebung des Laufers einstellt. Schließlich muß man den Zeigerstrich noch den Werten von  $z_1$  und  $z_2$  entsprechend einstellen. Wie schon erwähnt, findet man diese Werte auf der Teilung  $B$ . Man dreht also den Belichtungsstab um, stellt durch Verschiebung des Lineals den Teilstrich 7 der Teilung  $B$  zum Zeigerstrich und schiebt den Laufer auf den Teilstrich 11. Wird jetzt der Belichtungsstab umgedreht, so kann man auf der Teilung 0,90 für die bevorstehende Aufnahme als Belichtungszeit  $2' 30''$  ablesen.

Erschwert wird die Benutzung des Belichtungsstabes nur dadurch, daß man die Werte für  $z_1$  und  $z_2$  nur selten im voraus wissen kann, und daß man die Brennweiten der Kondensoren in den meisten Fällen nicht am Kondensor selbst ablesen kann. Die Brennweiten der Kondensoren sind jedoch in jedem Katalog der optischen Werke leicht aufzufinden, und die Werte für  $z_1$  und  $z_2$  lassen sich mit dem Belichtungsstab selbst bestimmen. In der alltäglichen Praxis begnügt man sich meistens mit Belichtungsreihen, solange man ständig mit derselben Einrichtung und derselben Plattensorte arbeitet. Geht man aber auf eine andere Plattensorte über, die einen anderen SCHWARZSCHILDSchen Exponenten hat, so wird man in der ersten Zeit, bis man sich auf die Plattensorte eingearbeitet hat, viel Nutzen vom Belichtungsstab haben, und zwar um so mehr, als man mit dem Belichtungsstab auch den Maßstab der Vergrößerung, die Blendendurchmesser und Öffnungsverhältnisse, ferner die num. Ap. von Kondensoren und Objektiven berechnen kann. Bezüglich der Ausführung solcher Rechnungen sei auf die Druckschrift Mikro 403 der ZEISS-Werke hingewiesen.

**49. Die Bedeutung der härteren oder weicheen Bilder in der Mikrophotographie.** Bekanntlich unterscheidet man in der Photographie härtere Bilder, wo der Kontrast zwischen Licht und Schatten (die Gradation) stark ausgeprägt ist, und weichere Bilder, wo feiner abgestufte Übergänge vorhanden sind. Ebenso bekannt ist es, daß die Kontrastwirkung des Bildes vom Verhältnis zwischen der Belichtungszeit und der Dauer der Entwicklung abhängig ist. Eine kurze Belichtung mit längerer Entwicklung liefert härtere, eine lange Belichtung mit kürzerer Entwicklung weichere Bilder. In welcher Weise die Länge oder Kürze der Belichtungszeit festgelegt wird, haben wir schon eingehend kennengelernt. Es sei aber noch bemerkt, daß die eben gebrauchten Bezeichnungen „kurze“ und „lange“ Belichtung keineswegs mit einer zu kurzen oder zu langen Belichtung, mit Unterexponierung und Überexponierung, verwechselt werden dürfen. Die „kurze“ Belichtung bedeutet in diesem Fall die kürzeste Zeit, bei der die Platte noch eine günstige Schwarzung zeigt und ebenso die „lange“ die längste Zeit, bei der dies noch der Fall ist. Hat man also auf einer Belichtungsprobe Schwarzungstreifen bei 2, 4, 8, 15,  $30''$  und schließlich  $1'$  erzielt und liegt die beste

Schwarzung bei 8'', so wird man, um die Aufnahme harter zu bekommen, nicht etwa 4'' und für die weichere Aufnahme nicht 15'' mit entsprechend kürzeren oder längeren Entwicklungszeiten wählen, sondern man wird eine zweite Probe machen mit der Zeitreihe 4, 6, 8, 10, 12 und 15'' und wird finden, daß z. B. schon bei 6'' und auch bei 10'' die Schwarzung richtig auftritt. Dementsprechend wählt man dann für härtere Bilder 6'' als „kurze“ und 10'' als „lange“ Belichtungszeit mit der entsprechenden längeren oder kürzeren Entwicklung. Wie jeder erfahrene Photograph weiß, kann durch die Entwicklung manches in der Aufnahme verbessert werden, die Mängel der Belichtung, und zwar besonders die einer Unterbelichtung, lassen sich jedoch durch die Entwicklung nie ganz wettmachen.

Die Dauer der Entwicklung, d. h. die Zeit, bei der das photochemisch erzeugte metallische Silber vollständig reduziert wird, hängt wiederum von einer Reihe Faktoren ab, so z. B. von der chemischen Zusammensetzung, der Konzentration und der Temperatur der Entwicklerlösung. Die Entwicklungsdauer ist anders bei anorganischen als bei den organischen Entwicklern und auch bei den letzteren verschieden, je nach der chemischen Natur des zugefügten schwefligsauren Salzes (Natriumsulfit und Kaliummetabisulfit), mit welchem man den Entwickler vor der Oxydation zu schützen pflegt. Ebenso wird die Reduktion des Silbers beeinflusst durch den Grad der alkalischen Reaktion, bei welchem der Reduktionsprozeß stattfinden soll, d. h. von der Menge Alkali (Kalium- oder Natriumkarbonat), die man der Entwicklerlösung zusetzt. Es ist auch bekannt, daß Bromkalium den Entwicklungsprozeß verzögert, wenn man einige Tropfen einer Bromkaliumlösung dem Entwickler beimischt oder das Bromkalium im Laufe der Entwicklung im Entwickler selbst sich anhauft („alte“ Entwickler). Je mehr reduzierende Stoffe bei der nötigen alkalischen Reaktion im Entwickler vorhanden sind, und je geringer der Gehalt an hemmendem Bromkalium ist, um so energischer wird die Schwarzung auftreten und um so kürzer ist die Entwicklungszeit. Wie jeder chemische Vorgang, so ist auch die Entwicklung von der Temperatur abhängig, und zwar wird sie in der Wärme beschleunigt, in der Kälte verzögert. Das Verhältnis, in dem die Entwicklungsdauer bei einem Temperaturunterschied von 10° C sich ändert, nennt man den Temperaturkoeffizienten des Entwicklers. Sein Wert ist für die einzelnen Plattensorten und die einzelnen Entwickler verschieden. Es ist deshalb oft nötig, den Wert des Temperaturkoeffizienten nach bekannten Formeln auszurechnen oder aber mit dem Belichtungsstab zu bestimmen<sup>1</sup>. Im allgemeinen eignet sich 18–20° C Zimmertemperatur am besten zur Entwicklung. Hat der Entwickler bei Zimmertemperatur einige Zeit (15–30 Minuten) gestanden, so nimmt er ebenfalls diese Temperatur an<sup>2</sup>. 1–2° Unterschied nach unten oder nach oben spielen keine Rolle.

Die Kenntnis all dieser hier nur kurz erwähnten Faktoren vorausgesetzt, wollen wir also jetzt untersuchen, unter welchen Bedingungen man bei einer mikrophotographischen Aufnahme das bestmögliche negative Bild erhalten kann. Welche Entwickler, welche Entwicklungszeiten und was für Platten sollen wir

<sup>1</sup> Siehe A. KOHLER (8, S. 1737–1739).

<sup>2</sup> Es ist deshalb ratsam, den Entwickler schon vor der Aufnahme bereit zu stellen und mit einem Deckel zugedeckt oder in einer verkorkten Flasche stehen zu lassen, bis man mit der Aufnahme fertig ist. Wird der Entwickler knapp vor der Entwicklung vorbereitet und dabei mit fließendem kaltem Wasser verdünnt, so wird er eine bedeutend niedrigere Temperatur haben als der Arbeitsraum, was oft der Grund sein kann, daß man die Belichtungszeit falsch beurteilt und die späteren Aufnahmen, welche in dem inzwischen schon erwärmten Entwickler behandelt werden, überbelichtet wird.

dazu wahlen? Alle diese Fragen laufen letzten Endes auf die eine Kernfrage hinaus, ob man die im mikroskopischen Bild vorhandene Verteilung von Licht und Schatten durch ein härteres oder ein weiches Lichtbild besser wiedergeben kann. Die Entscheidung dieser Frage wird also in der Hauptsache von der Beschaffenheit und den optischen Eigenschaften des Objekts abhängen.

Mit dem Auge des Graphikers beurteilt — und wie PETERSEN (4) es richtig betont, sind die Grundprobleme der mikrophotographischen Bildwiedergabe letzten Endes graphische Probleme —, ist das mikroskopische Bild im Vergleich zu den Objekten der Makrophotographie viel ärmer an ausgeprägten graphischen Kontrasten. Es enthält vor allem keine charakteristischen Schatten im dem Sinne, wie man solche an Lichtbildern körperlicher, im Raum angeordneter makroskopischer Objekte vorfindet. Von Ausnahmefällen abgesehen, wo auch die Makrophotographie zweidimensionale Objekte abbildet (z. B. bei der photographischen Wiedergabe von Bildern), verleihen der Makrophotographie stets die vorhandenen Schatten das charakteristische Gepräge. Von der Kontrastwirkung zwischen den beleuchteten Stellen und den Schatten wird der Photograph die Einstellung seines Objekts, die Belichtungs- und die Entwicklungszeiten abhängig machen. Dabei hat er aber im Gegensatz zum Mikrophographen einen in der Mehrzahl der Fälle ziemlich weitgehenden Einfluß auf die Gestaltung dieser Schatten bzw. auf die Bildhaftigkeit und Kontrastwirkung des Objekts, denn er kann entweder die Perspektive oder die Beleuchtung für die Aufnahme so wahlen, daß dabei gute graphische Kontraste entstehen. Die graphischen Kontraste im mikroskopischen Bild beruhen auf einer wesentlich anderen Grundlage, welche auf S. 20 schon erörtert wurden. In diesem Zusammenhang sei nochmals darauf hingewiesen, daß in der „Schwarzweiß“-Photographie vom mikroskopischen Bild nur das Strukturbild, d. h. die durch Lichtinterferenz erzeugten Grenzlinien und nicht das Farbenbild richtig zum Ausdruck gelangt. Die graphische Wirkung einer nichtfarbigen Photographie wird also vor allem von der Definition dieser Grenzlinien abhängig sein. Es stehen zwar optische Mittel zur Verfügung, diese Grenzlinien durch engere Blendenöffnungen, durch Einschlußmittel von geringerer Brechungszahl (Luft, Wasser, Glycerin usw.) oder durch eine Beleuchtung mit kurzwelligen Strahlen starker hervortreten zu lassen, im allgemeinen ist jedoch bei der Natur des mikroskopischen Bildes an der Stärke dieser Grenzlinien nicht viel zu ändern (s. S. 22). Das ist mit einer der Gründe, weshalb die mikroskopische Forschung von gefärbten Präparaten einen so starken Gebrauch macht. Bei subjektiver Beobachtung wird der Mangel an graphischen Kontrasten durch die Farbenkontraste im mikroskopischen Bild reichlich aufgewogen. Die nichtfarbige Photographie wird natürlich diese für das gefärbte Präparat charakteristischen Farbenkontraste überhaupt nicht und selbst die Helligkeitsunterschiede zwischen den verschiedenen gefärbten Stellen meistens nicht ganz richtig wiedergeben (s. S. 130). Manchmal wird sogar die Färbung des Präparats, besonders bei mehrfach gefärbten Präparaten, mehr schaden als nutzen (vgl. S. 392). Schließlich muß auch ein weiterer Umstand in der Mikrophotographie berücksichtigt werden, nämlich das Fehlen des geeigneten Hintergrunds, der in der Makrophotographie zur Wirkung des photographischen Bildes wesentlich beiträgt. In dieser Hinsicht kann man die mikroskopischen Bilder in zwei Gruppen teilen: in solche, welche viel freies oder leeres Sehfeld zeigen und in solche, bei denen das Sehfeld ganz oder zum größten Teil von den Strukturen bedeckt ist. Die Bedingungen zur Erzielung wirksamer graphischer Kontraste werden verständlicherweise günstiger sein in der ersten Gruppe mit viel leerem Sehfeld, wie das bei Aufnahmen einzeln verstreuter Zellen oder Bakterien der Fall ist.

Bedeckt jedoch die abgebildete Struktur das ganze Sehfeld (wie z. B. bei Aufnahmen histologischer Präparate oder bei stark vergrößerten Bildern einzelner Zellen), so wird die günstige graphische Wirkung zwischen einem hellen (bei Dunkelfeldbeleuchtung dunklen) Hintergrund und den Helligkeitsabstufungen im Objekt fehlen. Dieser Mangel an einem klaren, ruhigen und gleichmäßigen Hintergrund wird um so starker spürbar sein, je dichter und feiner die Struktur ist, welche die Bildfläche bedeckt. Die Mikrophotographie, und gerade die mit der besten Optik erzielte scharfe Aufnahme, enthält nämlich einen außerordentlichen Reichtum an graphischen Einzelheiten, unter denen nur ganz geringe Form- und Helligkeitsunterschiede bestehen. Vielfach haben gerade diese letzten Feinheiten der Zeichnung die größte Bedeutung bei der Auswertung der Aufnahme (z. B. bei zytologischen Untersuchungen). In anderen Fällen wirken sie dagegen bei der wissenschaftlichen Analyse des Bildes eher störend. In beiden Fällen muß der Mikrophotograph bestrebt sein, durch besondere Kunstgriffe eine vorteilhafte Kontrastwirkung zu erzielen, durch welche bestimmte Einzelheiten aus der Fülle der Bildelemente scharfer herausgeholt und andere weniger augenfällig gestaltet werden.

Auch dort, wo das Mikrophotogramm viel leeres Sehfeld zeigt, wird dieser Umstand die graphische Kontrastwirkung nur für grobere Strukturen, z. B. ganze Zellen oder Bakterien, begünstigen, während die Kontrastwirkung der feineren intrazellulären Strukturen davon kaum beeinflusst wird. Wichtig ist noch hier, zu wissen, daß die Helligkeit des freien Sehfelds im mikroskopischen Bild häufig anders erscheint als im Mikrophotogramm. Subjektiv empfindet man bei guter Beleuchtung das freie Sehfeld als die hellste Stelle des Hellfeldbildes (und die dunkelste des Dunkelfeldbildes). Die mikrophotographische Aufnahme wird dagegen oft innerhalb der Struktur Stellen zeigen, welche heller erscheinen als das freie Sehfeld. Noch wichtiger ist aber die Tatsache, daß das leere Sehfeld im Mikrophotogramm nur selten ganz hell erscheinen wird. Bei den meisten Aufnahmen erscheint im Abzug, selbst nach richtiger Belichtung und Entwicklung, auch das leere Sehfeld mehr oder weniger geschwärzt. Diese Erscheinung hängt mit der Absorption der Lichtstrahlen im Einschlußmittel zusammen und ist um so stärker ausgeprägt, je dunkler das Einschlußmittel gefärbt ist und je dicker die Schicht ist (vgl. auch S. 394). Da die meisten festen Einschlußmittel Harze sind, welche mit der Zeit bei Luftwirkung eine gelbliche oder braunliche Färbung annehmen, wird das gelbe Licht, welches durch das Einschlußmittel auf die Platte fällt, auf einer orthochromatischen Platte eine intensive Schwarzung und dementsprechend im positiven Bild ein helles Sehfeld erzeugen, bei nichtsensibilisierten Platten jedoch nicht. Hier wird das leere Sehfeld der gelben Färbung des Einschlußmittels entsprechend dunkler erscheinen, als man es subjektiv beobachtet hat, und zwar um so mehr, je dicker die Schicht des Einschlußmittels war. Den Einfluß der Färbung des Einschlußmittels auf die Helligkeit des photographischen Hintergrundes muß man auch bei Aufnahmen von vital gefärbten Objekten berücksichtigen (s. S. 324).

Zurückkehrend zu der Frage, welche Gradation sich für die Wiedergabe der im mikroskopischen Bild vorhandenen Kontraste am besten eignet, sei nochmals betont, daß die Entscheidung darüber in jedem einzelnen Fall der geschilderten optischen Eigenheiten der Objekte gemäß getroffen werden muß. Dort, wo elektiv gefärbte oder stark lichtbrechende Gebilde im Lichtbild hervortreten sollen (Neurofibrillen, Chromosomen in gefärbten Präparaten, Querstreifung in frischen Muskelfasern usw.), gibt man einem härteren Bild den Vorzug (s. Abb. 198, 240). Wird dagegen Wert darauf gelegt, möglichst alle Strukturfeinheiten im Bild objektgetreu wiederzugeben, so erhält man bei einer weicheren

Bearbeitung ein günstigeres Bild (Abb 54 u 55) Histologische Übersichtspräparate (besonders solche von parenchymatösen Organen, wie Milz, Hoden, Speicheldrüsen u a.), feiner zytologische Objekte, bei denen die feinen Protoplasmastrukturen mit allen Einzelheiten abgebildet werden sollen, erfordern ein weicheres Bild, da bei einer härteren Bearbeitung ein Teil der vorhandenen Strukturen unterdrückt wird oder aber die starken Kontraste dem Bild ein unruhiges Gepräge verleihen (vgl Abb 237 u 238) Ebenso läßt sich aber auch ein Allzuviel an nebensächlichen Bildelementen, welche die Aufmerksamkeit von dem eigentlichen Gegenstand der Abbildung ablenken konnten, durch die härtere Bearbeitung unterdrücken. Belichtet man mit dem Minimum der noch erforderlichen Lichtmenge, so werden alle Strukturen, welche das mikroskopische Bild beherrschen, im latenten Bild enthalten sein, und zwar um so stärker ausgeprägt, je stärker sie im mikroskopischen Bild hervortreten. Solche Strukturen aber, welche subjektiv betrachtet nur nach längerer Beobachtung, nachdem das Auge sich an das mikroskopische Bild gewöhnt hat, zur Wahrnehmung gelangen, werden schwach oder überhaupt nicht an der Erzeugung des latenten Bildes beteiligt sein, da sie nur bei längerer



Abb 54 Aufnahme mit Obj 71/88 40fach, n A 0,65, Kompl Ok 3fach, Kammerlänge 40 cm, Azolampe, Apl Kondensor 1,4, Irisblende bei Teilst. 15, Kollektorblende offen, Belichtung 4, Agta-Chromo-Isorapid, Mitol Hydrachinon 3. Hartes Bild (Salimanderlarve, Drüsenorgane, Schnittpräparat 7,5  $\mu$  Färbung Eisenhamatoxylin-Ethazinrot)



Abb 55 Aufnahme vom selben Objekt wie in Abb 54 mit denselben Linsen und unter denselben Verhältnissen bei einer Belichtung von 5. Weicheres und besser durchgearbeitetes Bild als Abb 54

Belichtung das erforderliche Maß an photochemischer Wirkung hervorruft. Beleuchtet man also mit dem Maximum der günstigen Belichtungszeit, so wird



die Lichtwirkung solcher Strukturen auch in der lichtempfindlichen Schicht die Keime erzeugen, durch die das Bild an Strukturen reicher, an graphischen Kontrasten jedoch ärmer wird. Man erhält also gewisse Anhaltspunkte, welche Bildelemente eine härtere und welche eine weichere Bearbeitung erfordern, schon bei der subjektiven Beobachtung. Alle Strukturen, die sozusagen auf den ersten Blick im Sehfeld sichtbar sind, eignen sich für harte Bilder. Legt man Wert darauf, daß sie allein, gewissermaßen elektiv, im mikrophotographischen Bild erscheinen, so wird man mit dem Minimum der günstigen Belichtungszeit die Aufnahme machen und dann länger entwickeln. Handelt es sich aber um die Feinheiten des Strukturbildes, die man bei subjektiver Beobachtung nur nach und nach wahrnimmt, so kann man diese auch im photographischen Bild nur bei etwas längerer Lichteinwirkung zum Vorschein bringen, wobei dann naturgemäß ein weiches Bild entsteht.

**50. Die Entwicklungsproben.** Man pflegt vorteilhafterweise dauernd mit einem und demselben Entwickler bei gleichbleibender Konzentration und Temperatur zu arbeiten. Hat man dann seinen bewährten Entwickler, so lassen sich die Entwicklungszeiten durch Entwicklungsproben empirisch ermitteln. Dazu benutzt man nach dem Vorschlag von A. KOHLER (8, S. 1735) Plattenstreifen im Format von  $3 \times 9$ , die man erhält, wenn man Platten von  $6 \times 9$  der Länge nach halbiert. Man belichtet zuerst die Platte und halbiert sie vor der Entwicklung in der Dunkelkammer. In den meisten Fällen werden vier solche Streifen, d. h. zwei Aufnahmen, genügen, um die Entwicklungszeit zu bestimmen. Vorteilhafter ist es jedoch, drei Aufnahmen (bei derselben Belichtungszeit), d. h. sechs Streifen, zu entwickeln.

Der Gang und Zweck solcher Entwicklungsproben läßt sich an einem Beispiel am besten schildern. Man wunscht z. B. von einem Gewebezüchtungspräparat bei einer mittelstarken Vergrößerung (etwa 200fach, Apochrom 8 mm, periplan Ok 8fach) ein Lichtbild, wo ein Teil des Implantats mit dem Wachstumshot klar und deutlich dargestellt wird (vgl. auch Abb. 208). Man hat früher schon durch eine Belichtungsprobe die günstige Belichtungszeit bei 5" Belichtung festgestellt. Dabei hat man üblicherweise einen der bekannten kauflichen Entwickler, z. B. Metol Hydrochinon, in der vorschrittsmäßigen Verdünnung (1:5) zur Entwicklung der Belichtungsreihe benutzt und entwickelt auch die endgültige Aufnahme mit dieser Lösung. Am Negativ wird man eine gute Gradation feststellen mit einer guten Deckung der Lichter. Hat man aber den Abzug vor sich, so zeigt es sich, daß das erhaltene Bild den Erwartungen nicht vollständig entspricht. Wie das bei photographischen Aufnahmen von Gewebezüchten häufig vorzukommen pflegt (s. S. 334) ist der Kontrast zwischen Implantat und den einzelnen Zellen des Wachstumshotes viel zu stark. Das Implantat stellt einen schwarzen Fleck dar, in welchem keine weiteren Einzelheiten sichtbar sind. Die einzelnen Zellen zeigen zwar bei genauerer Betrachtung eine gute Abbildung ihrer feineren Struktur, diese kommt jedoch nicht genügend zur Geltung, weil der starke schwarze Fleck ihre graphische Wirkung — wie man zu sagen pflegt — schlägt. Da man von einer Änderung in der Belichtungszeit kaum noch günstigere Ergebnisse erwarten kann, bleibt nun die Möglichkeit offen, durch eine besser angepaßte Entwicklung die Kontraste so zu mildern, daß das Bild des Implantats mehr ausgearbeitet erscheint, während die einzelnen Zellen ihre Zeichnung unverändert beibehalten. Um die dazu notwendige Entwicklungsdauer zu ermitteln, macht man nun zwei weitere Aufnahmen und halbiert die Platten vor der Entwicklung. War die Entwicklungsdauer bei der ersten Aufnahme, die das harte Bild erzeugt hatte, 3 Minuten, so entwickelt man nun die Plattenstreifen der Reihe nach 4, 6, 8 und 10 Minuten lang. Aller Wahrscheinlichkeit nach wird man bei einer Entwicklungsdauer von 5 Minuten die Entwicklungszeit erhalten, bei welcher das photographische Bild sowohl die Einzelheiten der isolierten Zelle als auch eine feiner abgestufte Zeichnung des Implantats zeigt.

Wir haben hier mit Absicht eins der schwierigsten mikrophotographischen Objekte als Beispiel gewählt, denn gerade an solchen Objekten, wo die Verschiedenheit in der Dicke und Dichte der Strukturen die Entstehung störender graphischer

Kontraste begünstigt, ist der Einfluß der Entwicklungsdauer und die Bedeutung der Entwicklungsproben am besten erkennbar. Ebenso verhält sich die Sache bei frischen Zupfpräparaten, bei Aufnahmen von ganzen Lebewesen (kleinen pflanzlichen oder tierischen Organismen) und überhaupt in allen Fällen, wo das Objekt kein Ausstrich- oder Schnittpreparat darstellt. Bei diesen letzteren genügt es gewöhnlich, die Entwicklungsdauer in üblicher Weise so lange auszudehnen, bis das Negativ an den belichteten Stellen eine kraftige Schwarzung zeigt. Bei Platten, wo die Wirkung des Entwicklers, d. h. die Schwarzung der Schicht, an der Rückseite sichtbar wird, läßt man den Entwickler bis zu diesem Moment einwirken. Es gibt aber bekanntlich manche Plattensorten, wo dieses Zeichen fehlt. Benutzt man einen der bekannten handelsüblichen Entwickler, wie z. B. Rodinal oder Methol-Hydrochinon in den vorgeschriebenen Verdünnungen (bei Rodinal 1 : 20, bei Metol-Hydrochinon 1 : 4 oder 5), so wird nach einer günstigen Belichtungszeit die Entwicklung meistens binnen 5 Minuten beendet sein. Es ist bekanntlich stets vorteilhaft, wenn die Schwarzung der Platte im Entwickler nach und nach und nicht auf einmal sturmisch erfolgt. Die subjektive Beurteilung, wann die Entwicklung vollendet ist, wann also alle Feinheiten des latenten Bildes vom Entwickler herausgearbeitet worden sind, ist bei den mikrophotographischen Aufnahmen in den meisten Fällen schwieriger als bei den sonstigen photographischen Aufnahmen (vgl. S. 117, Verfahren nach ENGELKEN). Was man durch Beobachtung der Platte im Entwickler bei gedämpftem rotem Licht feststellen kann, ist lediglich, ob eine Schwarzung auftritt und wie rasch oder wie stark diese erfolgt. Tritt keine Spur der Schwarzung nach einer halben Minute auf (in einem 1 : 20 verdünnten Rodinal- oder in einem 1 : 5 verdünnten Metol-Hydrochinon-Entwickler), so ist die Aufnahme sicher unterbelichtet. Erfolgt aber die volle Schwarzung binnen 10 Sekunden, so hat man es ohne Zweifel mit einer überbelichteten Platte zu tun. Wie ROMER (I, S. 445) betont, ist das Erscheinen der ersten Bildspuren für die Bestimmung der Entwicklungszeit besonders wichtig. Kennt man die Zeit bis zum Auftreten der ersten Bildspuren, so kann man daraus die Entwicklungszeit berechnen, indem man die Zahl der so festgestellten Sekunden mit dem sog. Entwicklungsfaktor des Entwicklers multipliziert. Der Entwicklungsfaktor ist für den Methol-Hydrochinon-Entwickler = 15. Hat man also die ersten Bildspuren in einem solchen Entwickler nach 20 Sekunden erhalten, so braucht man  $20 \cdot 15 = 300''$  oder 5', um das Bild vollständig zu entwickeln.

Einzelheiten in der feineren Zeichnung des Bildes kann man bei Aufsicht im Negativ, solange dieses in der Entwicklerlösung liegt, selten wahrnehmen. Bei Durchsicht soll man aber die Platte während der Entwicklung hebel nicht prüfen (Gefahr einer Schleierbildung!). Schon aus diesen Gründen empfiehlt es sich also, die Entwicklungsdauer vorher durch Entwicklungsproben oder durch Ausrechnen mit dem Entwicklungsfaktor festzustellen und sich dann stets nach diesen Entwicklungszeiten zu richten. Im allgemeinen braucht man die genaue Entwicklungszeit nur für eine geringe Anzahl von Objekten im Voraus zu bestimmen (vorausgesetzt, daß man ständig mit einer Plattensorte bei derselben Temperatur und mit demselben Entwickler arbeitet), so z. B. gesondert für gefärbte und für ungefärbte Präparate (lebende oder frische Objekte), für Aufnahmen in auf-fallendem Licht, bei Dunkelfeldbeleuchtung oder in polarisiertem Licht usw.<sup>1</sup> Verschiedene Vergrößerungen brauchen keine verschiedenen Entwicklungszeiten, ebensowenig verschieden gefärbte Präparate. Auch die Lichtfilter haben

<sup>1</sup> Vorteilhafterweise schreibt man die so ein für allemal ermittelten Entwicklungszeiten nach dem Vorschlag von B. ROMER (I, S. 445) auf transparentes Papier und hängt dieses gut lesbar in der Nähe der Dunkelkammerlampe auf.

auf die Entwicklungszeit keinen merkbaren Einfluß. Wird ein anderer Entwickler oder eine andere Plattensorte gewählt, so müssen natürlich von neuem Entwicklungsproben angestellt werden. Vergesse man aber nie, vor der Entwicklung die Temperatur in der Dunkelkammer mit einem Zimmerthermometer zu kontrollieren (vgl. S. 110). Werden Schwankungen von  $3-5^{\circ}$  bemerkt, so muß man entweder für eine entsprechende Regelung der Temperatur sorgen (Aufwärmen bzw. Abkühlen der Entwicklerlösung auf  $18-20^{\circ}\text{C}$ ) oder aber die Entwicklungsdauer der niedrigeren oder höheren Temperatur entsprechend länger oder kürzer halten.

**51. Die Wahl der Entwickler und der Plattensorten.** Die Entwicklung jeder mikrophotographischen Aufnahme wird grundsätzlich zwei Hauptbedingungen entsprechen müssen: nämlich 1. daß der Entwickler die lichtempfindliche Schicht gleichmäßig und vollkommen durchdringt und 2. daß die chemische Reaktion, welche zur Reduktion der Keime notwendig ist, restlos bis zu Ende geführt wird. Diese Forderungen werden also die Wahl des Entwicklers, die Konzentration der Entwicklerlösung, die Entwicklungsdauer und schließlich auch die Wahl der Plattensorte beeinflussen, denn sowohl die Durchdringung der lichtempfindlichen Schicht wie auch das Tempo des Reduktionsvorganges ist von diesen Faktoren weitgehend abhängig. Verstandlicherweise hat man bessere Aussichten zur Erfüllung dieser Bedingungen, wenn man die Möglichkeit hat, den Entwickler länger auf die Schicht wirken zu lassen. Das wird aber nur möglich sein, wenn der Entwickler nicht allzu kräftig wirkt und die Platte dem Entwickler gegenüber nicht allzu empfindlich ist. Es besteht bekanntlich ein Zusammenhang zwischen Korngröße und Empfindlichkeit der Platte (s. dieses Handbuch V, S. 66). Platten mit groberer Kornelung, z. B. die sog. Momentplatten, sind sehr empfindlich und gestatten deshalb nur ein kurzes Verweilen in der Entwicklerlösung, während die sog. photochemischen Platten mit einer sehr feinen Kornelung viel länger mit demselben Entwickler behandelt werden können<sup>1</sup>. Konzentriert oder aus sonstigen Gründen kräftig wirkende Entwickler greifen sehr rasch auch die unbelichteten Stellen der Schicht an und verdecken dadurch nach kurzer Entwicklungszeit schon die im latenten Bild vorhandenen feineren Abtönungen. Man wählt deshalb vorteilhaft — abgesehen von Momentaufnahmen — härter arbeitende Platten und Entwicklerlösungen von geringerer Konzentration oder gedämpfter Wirkung. Für die Auswahl der in Frage kommenden Plattensorten können hier verstandlicherweise nur Ratschläge allgemeiner Art gegeben werden. Man arbeitet in der Regel mit orthochromatischen oder panchromatischen Platten. Diese sind heutzutage überall in so großer Auswahl und von zugleich guter Qualität erhältlich, auch ist der Preisunterschied den gewöhnlichen Platten gegenüber so gering, daß es sich kaum lohnen würde, die Arbeit an nicht sensibilisierten Platten zu erschweren. Selbst für Aufnahmen von ungarbten Objekten eignen sich sensibilisierte Platten besser, namentlich wenn die Lichtquelle an kurzwelligen Strahlen arm ist. Bei Aufnahmen rot gefärbter Objekte oder bei solchen, in deren Färbung das Rot eine charakteristische Rolle spielt (vitale Neutralrotfärbungen, rote Kernfärbungen usw.) eignen sich d.

<sup>1</sup> Vgl. auch O. SANDVIK (1) über die Zusammenhänge zwischen Auflösungsvorgang der lichtempfindlichen Schicht und dem graphischen Kontrast. Für besonders feinkörnige Platten, wie die photomechanischen Platten der Firma PERUTZ oder die Agfa-Normal und Agfa-Kontrast-Platten, eignen sich vor allem die Glyzinentwickler mit Pottasche oder Alkali nach HUMM (in Plattenform). Der letztere gibt auch bei Silber-Eosin-Platten oft eine bessere Gradation als die Motol-Hydrochinon-Entwickler. Beide Entwickler werden zur Standentwicklung bevorzugt. Im allgemeinen empfiehlt es sich, zu den Platten der Firma PERUTZ die von derselben Firma hergestellten Permal-Entwickler zu benutzen.

panchromatischen Platten am besten, entweder so, wie man sie im Handel fertig beziehen kann (z B PERUTZ panchromatische Rapid-Platte oder panchromatische Agfa-Normal-Platte usw), oder so, daß man mit Rot-Sensibilisatoren (bzw Rot-Grün-Sensibilisatoren Dicyanin, Orthochrom, Pinachrom, Pinacyanol usw) die orthochromatischen Platten durch Baden rotempfindlich macht (s dieses Handbuch VIII, S 150) Bei der heutigen Vollkommenheit der Plattenfabrikation bleibt es ziemlich gleichgültig, welche Trockenplattenfirma man bevorzugt Man mache es sich jedoch zum Grundsatz, womöglich mit einer oder einigen wenigen Plattensorten zu arbeiten und von diesen nur ausnahmsweise abzuweichen, wenn die Wahl einer anderen Plattensorte gewisse allein dieser anhaftende Vorteile für die Aufnahme bietet So verwendet der Verfasser im allgemeinen nur die Chromo-Iso-Rapid-Platten der Agfa und die Perortho-Antihalo-Braunsiegel- oder die Silber-Eosin-Platten der Firma PERUTZ Ob man ausgesprochen lichteisfreie Platten benutzt oder nicht, spielt bei Hellfeldaufnahmen keine Rolle, bei Aufnahmen im Dunkelfeld im auffallenden Licht oder in der Polarisationsmikroskopie kann es aber unter Umständen sehr wichtig sein Es ist daher ratsam, sich gleich auf lichteisfreie Plattensorten einzuarbeiten, da der Preisunterschied zwischen solchen und den nicht lichteisfreien (bei den kleinen und mittleren Formaten) ganz unwesentlich ist Was die Korngröße betrifft, haben die oben genannten Platten und noch mehr die Silber-Eosin-Platten ein feines Korn, aber dabei eine gesteigerte Empfindlichkeit Sie stehen also gewissermaßen in der Mitte zwischen den eigentlichen photomechanischen Platten (wie z B PERUTZ-Topo-Platte, PERUTZ-photomechanische Platte D oder PERUTZ-Spezial-Flieger-Platte, Agfa-Normal- und Kontrast-Platte usw) und den Momentplatten (z B Agfa-Extra-Rapid, Agfa-Ultra-Spezial oder PERUTZ-Super-Rapid und Spezial-Portrait-Ultra-Rapid)

Über die Verwendung von Filmen in der Mikrophotographie s S 351

J GICKLHORN und R KELLER (1) beschreiben ein Verfahren, bei welchem die zu drucktechnischer Wiedergabe bestimmten Mikraufnahmen gleich auf Rasterplatten aufgenommen werden, was die drucktechnische Herstellung wesentlich vereinfacht Man befestigt dafür ein Linienraster (z B Raster 60) einfach unterhalb der Schicht der unbelichteten Platte und belichtet gleich durch den Raster

Zur Entwicklung der Platten empfiehlt es sich, im voraus schon eine bestimmte Zeit, z B 3 oder 5 Minuten, als Entwicklungsdauer zu wählen und seinen Entwickler so zu verdünnen oder durch Zusatz von Bromkalium so weit abzuschwächen, daß nach 3 oder 5 Minuten das Negativ vollständig ausgearbeitet sein soll Auch wird man zuerst eine Entwicklungsprobe vornehmen, aber nicht nach der Zeitdauer — diese bleibt für alle Proben 3 oder 5 —, sondern nach dem Grad der Verdünnung (1 2, 1 4, 1 8, 1 16) oder nach der Zahl der zugefügten Bromkaliumtropfen (1, 2, 3, 4, 5, 6)<sup>1</sup> Um die Schicht gleichmäßig mit dem Entwickler zu durchdringen, ohne zu lange entwickeln zu müssen, empfiehlt A KOHLER (s S 1977) das folgende Entwicklungsverfahren nach ENGELKEN

#### 1 Metol-Hydrochinon-Entwickler

Destilliertes Wasser	1 l	Hydrochinon	10 g
Metol	7 g	Bromkalium	2 g
Kaliummetabisulfit	80 g		

#### 2 Sodaauslösung

Destilliertes Wasser	1 l	Soda wasserfrei	100 g
(Wenn man kristallisiertes Soda benutzt, gibt man 200 g Soda auf 900 cm <sup>3</sup> destilliertes Wasser)			

<sup>1</sup> Man verdünnt dabei den Entwickler laut Vorschrift und diese schon verdünnte Lösung in den angegebenen Verhältnissen weiter mit Leitungswasser oder noch besser mit einem alten Entwickler

Man legt die belichteten Platten erst in die Metol-Hydrochinon-Lösung hinein und läßt sie darin liegen, bis die Gelatineschicht gequollen ist, was binnen 2 bis 3 Minuten sicher erfolgt. Ohne Spülung führt man jetzt die Platten in die 10proz. Sodalösung hinüber, und eist hier wird das Silber reduziert in dem Moment, wo das eindringende Alkali die Reaktion des schon eingedungenen Entwicklers auslost. In der zweiten Lösung soll dann die Platte während der Schwarzung hin und her bewegt werden. Binnen 3—5 Minuten wird die Entwicklung beendet sein. Die erste Lösung kann man wiederholt gebrauchen, da sie beim Einlegen der Platten nicht beeinflusst, nur bei längerem Stehen an der Luft etwas oxydiert wird. Die Sodalösung muß jedoch stets aus dem Behälter frisch genommen werden. Das Verfahren gewährt bei günstiger Belichtung eine sehr gleichmäßige Entwicklung, wobei auch die Schwarzung der feineren Strukturen gut zu verfolgen ist. Will man das Tempo der Entwicklung noch mehr verzögern, so gibt man 2—3 Tropfen einer 10proz. Bromkaliumlösung zum Metol-Hydrochinon-Entwickler hinzu.

Das Verfahren eignet sich besonders für die Entwicklung von größeren Platten (von der Größe  $9 \times 12$  aufwärts), wenn also eine große Bildfläche dicht mit der mikroskopischen Struktur bedeckt ist. Sonst macht es im allgemeinen keinen wesentlichen Unterschied aus, ob man dieses Entwicklungsverfahren oder irgendeinen der in fertigem Zustand käuflichen Entwickler bzw. eine nach den verschiedenen Vorschriften zubereitete Entwicklerlösung benutzt. Von diesen letzteren seien hier noch zwei zu mikroskopischen Zwecken besonders geeignete Vorschriften abgedruckt.

Pyrogallol-Entwickler (nach A. KOHLER [8, S. 197])

1. Destilliertes Wasser	1 l	Natriumsulfit <sup>1</sup> , wasserfrei	100 g
Kaliummetabisulfit	16.5 g	Pyrogallol	33 g
2. Sodalösung			
Destilliertes Wasser	1 l	Destilliertes Wasser	900 ccm
Soda, wasserfrei	100 g oder	Soda, kristallisiert	200 g
Bromkalium	$4\frac{1}{2}$ g	Bromkalium	$4\frac{1}{2}$ g
Zum Gebrauch mischt man	Lösung 2	10 ccm	
	Lösung 1	20 ccm	
	Leitungswasser	70 ccm	

Metol-Hydrochinon-Entwickler (nach B. ROMELS [1, S. 444])

Ausgekochtes destilliertes Wasser	1 l	Hydrochinon	8 g
Metol	5 g	Kaliumkarbonat (Pottasche)	150 g
Kristallisiertes Natriumsulfit <sup>2</sup>	120 g	Bromkalium	2 g

Zum Gebrauch wird diese Stammlösung 1 : 4 oder 5 mit Leitungswasser verdünnt. Die Auflösung der einzelnen Bestandteile erfolgt bei Vorbereitung der Entwickler am besten in siedendem Wasser, dem man die einzelnen Substanzen in der angegebenen Reihenfolge zufügt, wobei man jedesmal abwartet, bis die Substanz sich vollkommen aufgelöst hat. Lost man die Substanz kalt, so kann man sie rasch auflösen, wenn man sie in Siebdosen aus Porzellan in einen mit der entsprechenden Menge Wasser gefüllten Glaszylinder der Reihe nach einhängt.

Sonstige technische Einzelheiten der Entwicklung, wie z. B. der Gebrauch von Plattenhaltern, die Anwendung von Desensibilisatoren, von Verstärkern und Abschwächern brauchen hier nicht ausführlicher behandelt zu werden, da sie in der Mikrophotographie eine ganz ähnliche Rolle spielen wie bei jeder anderen photographischen Arbeit.

Was im besonderen die Nachbehandlung der Platte mit Verstärkern oder Abschwächern anbelangt (vgl. dieses Handbuch V, S. 342), wird man auch in der Mikrophotographie mehr Erfolg von den Abschwächern (namentlich bei zu dicht entwickelten Platten) als von den Verstärkern haben. Diese letzteren kommen nur bei zu kurz entwickelten Platten in Betracht, helfen jedoch bei Belichtungsfehlern so gut wie nichts. Im allgemeinen halte man sich an die alte Erfahrung, daß kein nachbehandeltes Negativ

<sup>1</sup> Natrium sulfurosum siccum     $\text{Na}_2\text{SO}_3$     <sup>2</sup>  $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

die Verteilung von Licht und Schatten so fein abgestuft wiederzugeben vermag wie eine richtig belichtete und entwickelte Platte. Es wird sich also in vielen Fällen mehr lohnen, eine neue Aufnahme unter besseren Bedingungen zu machen, als durch Nachbehandlung eine mangelhafte Gradation verbessern zu wollen. Die Wiederholung der Aufnahme ist allerdings davon abhängig, ob die Präparate dazu einem ständig zur Verfügung stehen. Handelt es sich aber um vergängliche Objekte oder um die photographische Abbildung von Versuchsergebnissen, wo die Wiederholung der Aufnahme oft auf große Hindernisse stößt, so wird man jede Möglichkeit begrüßen, die einmal gemachte Aufnahme zu retten und durch Verstärkung oder Abschwächung, so gut es geht, aus einem mangelhaften Negativ ein brauchbares Bild herauszuarbeiten (vgl. H. SCHOEPF [7]).

**52. Die Stand- und die Schalenentwicklung.** Bekanntlich unterscheidet man bei der technischen Ausführung der Entwicklung zwei Verfahren: die Schalenentwicklung, wo man die Platte in der Entwicklerlösung während der Schwarzung beobachten kann, und die Stand- oder Dosenentwicklung nach Zeit (kurz Zeitentwicklung), wo man die Platten in lichtdicht verschließbaren Behältern, den sog. Dosen (z. B. den Amato-Dosen von KINDERMANN & Co., Berlin, oder den Phoco-Dosen von E. WUNSCH, Dresden), aufstellt und hier eine bestimmte Zeit lang entwickelt. In der Mikrophotographie benutzt man beide Verfahren abwechselnd. In einer Reihe von Fällen bietet die Schalenentwicklung, in anderen Fällen die Zeitentwicklung mehr Vorteile. Jede erste Aufnahme einer Aufnahmereihe soll in der Schale entwickelt werden, denn nur so kann man vom Gang und vom Tempo der Schwarzung unmittelbar Aufschluß erhalten. Auch wenn man nur wenige Platten (1—3) entwickeln will — sei es, daß man überhaupt nur so wenige Aufnahmen macht, sei es, daß man zwar mehrere Aufnahmen vor hat, sie jedoch an verschieden gearteten Objekten vornehmen muß — ist die Schalenentwicklung zweckmäßiger als die Standentwicklung. Die meisten Vorteile, die man mit den Dosen erhält und weswegen diese empfohlen werden: der Schutz vor unerwünschten Lichtwirkungen, das längere Liegenlassen im Entwickler, sind ebenso gut und ebenso einfach auch bei der Schalenentwicklung zu erreichen. Mit einem Deckel oder einem Umsturz aus Holz, schwarzem Karton oder emailliertem Blech kann man die Platten ebenfalls sicher während der Entwicklung vor dem roten Licht der Dunkelkammer schützen. Ist die Entwicklerlösung entsprechend verdünnt oder durch Bromkaligedampf, so können natürlich die Platten ebenso gut in Schalen wie in Dosen längere Zeit bleiben. Meistens benutzt man dabei eine einfache Schaukelvorrichtung, auf der die Schalen aufgestellt und nach Einlegen der Platten bzw. nachdem die ersten Bildspuren sichtbar werden, mit dem Umsturz bedeckt werden. Dann setzt man den Pendel der Schaukel in Bewegung und läßt die Platten während der vorschrittsmäßigen Entwicklungszeit in der Schale liegen, wo sie automatisch von dem Entwickler bespült werden. So hat man Zeit, in zwischen sonstigen Arbeiten nachzugehen, ebenso gut, wie wenn man in Dosen entwickeln würde. Allerdings kann man die Dosen, sobald sie geschlossen sind, aus der Dunkelkammer mit in den hellen Arbeitsraum nehmen. Zweckmäßiger ist es aber, die Platten während der Entwicklung in der Dunkelkammer zu belassen: eine eingestellte Weckeruhr in den Arbeitsraum mitzunehmen und in der Zwischenzeit ruhig die sonstigen Arbeiten zu verrichten, bis der Moment eintritt, wo die Entwicklung abgebrochen werden muß.

Die Standentwicklung in Dosen ist besonders dann von großem Vorteil, wenn man eine größere Anzahl von Platten entwickelt, denn in den Dosen lassen sich mehrere Dutzend Platten auf einmal bequem entwickeln. So günstige Ver-

hältnisse hat man aber nur dann, wenn die Aufnahmen von gleichartigen Objekten stammen, wie das in histologischen oder zytologischen Laboratorien oft der Fall ist, wo man ganze Reihen von Präparaten nach dem gleichen Verfahren herzustellen pflegt. Gelangen dann solche gleichartig behandelte Präparate in größerer Anzahl zur Aufnahme, so wird man selbstverständlich die belichteten Platten am zweckmäßigsten in Dosen entwickeln. Umgekehrt liegen die Verhältnisse in der mikrophotographischen Praxis des Kolloidchemikers, des Histophysiologen oder des experimentellen Zytologen, wo häufig Präparate von ganz verschiedenem optischem Charakter, bald im Hellfeld, bald im Dunkelfeld, zur Aufnahme gelangen und eine ständige Kontrolle bei der Entwicklung erfordern.

Die Art, wie man die belichteten Platten weiter behandeln soll, hängt also vielfach von der Richtung und dem Charakter der mikroskopischen Forschung ab. Bei Arbeiten, wo die Resultate in Form von Präparatenserien schon fertig vorliegen — wie meistens bei den histologischen oder zytologischen Untersuchungen — wird die Standentwicklung in Dosen die Methode der Wahl sein. Dort aber, wo man Versuchsergebnisse oder veränderliche Objekte im Lichtbild festhalten will, wird man nach jeder Aufnahme die Platten gleich in Schalen entwickeln.

**53. Die Numerierung der Platten.** Nach erfolgter Aufnahme pflegt man ordnungsgemäß sowohl die Kassetten mit den belichteten Platten wie auch die Platten vor der Entwicklung mit entsprechenden Nummern zu versehen. Die Numerierung der Kassetten erfolgt entweder an einer dafür angebrachten Marke mit Bleistift oder, wo eine solche Marke fehlt (Auflegekassetten) mit gelbem Fettstift oder Kreide. Die belichteten Platten bezeichnet man entweder auf der Schichtseite mit einem weichen Bleistift oder auf der Glasseite mit einem Ritzdiamant.

Das Fixieren, Auswaschen und Trocknen der Negative erfolgt in der Mikrophotographie nach denselben Regeln wie sonst in der Photographie (vgl. dieses Handbuch V, S. 332).

## XII. Die Herstellung der positiven Bilder

Dem allgemeinen Plan des Handbuches angepaßt werden hier die technischen Verfahren zur Herstellung von Abzügen auf Papier oder Glas nur so weit besprochen, als dabei besondere mikrophotographische Gesichtspunkte hervorzuheben sind. Eine ausführliche und einheitliche Darstellung des Positivverfahrens enthält der Bd. V des Handbuches.

**54. Das Auskopierverfahren und die Entwicklungspapiere.** Bekanntlich unterscheidet man unter den verschiedenen Arten des Positivverfahrens zwei Haupttypen. Das Auskopierverfahren und das Druckverfahren mit Entwicklungspapieren. Das Auskopierverfahren, wo das Auskopierpapier durch das Negativ mit zerstreutem Sonnenlicht belichtet wird, wird heutzutage in der Mikrophotographie selten benutzt, da der Abzug mit Entwicklungspapieren einfacher ist und, vom Tageslicht unabhängig, jederzeit ausgeführt werden kann. So viele Vorteile die Entwicklungspapiere ohne Zweifel haben, kann man das Auskopierverfahren doch nicht als gänzlich überflüssig hinstellen, denn wie A. KOHLER (8, S. 1744) es richtig hervorhebt, in manchen Fällen und zwar gerade dort, wo es sich um fein abgestufte Kontrastwirkungen zarter Strukturen handelt, vermag der zwangsläufige und dabei ständig kontrollierbare Gang des Auskopierens die Tonabstufungen getreuer wiederzugeben als das Drucken mit Entwicklungspapieren. Unter den Entwicklungspapieren wird der Mikrophotograph stets den Glanzpapieren den Vorzug geben. Matte Papiere

kommen nur für das Zeichenverfahren nach SOBOTTA in Betracht (s S 399). Zwischen den verschiedenen Entwicklungspapieren der bekannten photographischen Firmen (z B SATRAP-, SATROX-, LEONARD-Papieren usw.) besteht im allgemeinen kein wesentlicher Unterschied, wenn man die Papiere genau nach den der Packung beigegebenen Vorschriften behandelt. Die Erfahrung lehrt jedoch, daß die Feinheiten, welche in der Zeichnung mikrophotographischer Aufnahmen enthalten sind, häufig von einer bestimmten Papiersorte besser wiedergegeben werden als von einer anderen. Worauf diese Erscheinung beruht, ist schwer zu sagen. Es empfiehlt sich deshalb, mehrere Sorten von Entwicklungspapieren vorrätig zu halten und es in schwierigen Fällen mit verschiedenen Sorten zu versuchen.<sup>1</sup>

Die sehr empfindlichen Papiere mit einer Bromsilbergelatineschicht werden hauptsächlich dort verwendet, wo man Vergrößerungen von Aufnahmen anfertigt oder — was seltener vorkommen dürfte — zur Belichtung der Papiere nur eine lichtschwache Lampe zur Verfügung hat. Bequemer und sicherer ist die Arbeit mit den weniger empfindlichen Chromsilberpapieren, die man als „Gaslichtpapiere“ zu bezeichnen pflegt.

Zur Belichtung werden nun die Papiere in entsprechende Kopierrahmen oder Kopierkasten mit den Negativen Schicht an Schicht eingepreßt und dann aus einer bestimmten Entfernung eine bestimmte Zeit lang belichtet. Die genaue Bemessung der Belichtungsstärke ist natürlich ebenso wichtig wie bei der Belichtung der Platten, wobei hier in der Hauptsache drei Faktoren die Lichtstärke der Lampe, die Entfernung von der Lichtquelle und schließlich die Dauer der Belichtung zu berücksichtigen sind. Im allgemeinen läßt sich sagen, daß die Belichtungszeit mit dem Quadrat der Lichtstärke in umgekehrtem, mit dem Quadrat der Entfernung in geradem Verhältnis steht. Am zweckmäßigsten ist es, sowohl die Lichtstärke der Lampe wie den Abstand zwischen Lampe und Papier konstant zu halten, was am besten mit Kopierkasten (Belichtungskasten) zu erreichen ist. Mit solchen Kästen läßt sich dann auch die Belichtungszeit genau regeln. Wo keine solche Kästen zur Verfügung stehen, benutzt man immer ein und dieselbe elektrische Glühlampe mit mattierter Birne, am besten von 75 Watt (keine Projektionslampe!). Sehr einfach und praktisch kann man eine Belichtungseinrichtung improvisieren mit einer Hangelampe und einem Ständer, wie man sie in chemischen Laboratorien zu benutzen pflegt. Man klemmt die Hangelampe in die Klemme an der Stange des Ständers so hoch, daß die Entfernung von der Fußplatte 25, 50 oder 100 cm beträgt. Wählt man einen kürzeren Abstand, so wird man mit kürzeren, wählt man einen größeren Abstand, mit längeren Belichtungszeiten rechnen. Den Kopierrahmen mit Platte und Papier legt man waagrecht auf die Fußplatte, und so hat man bei derselben Lampe und demselben Abstand nur auf die Belichtungszeit zu achten.

Sehr häufig wird die Entfernung bei den Belichtungen nur nach Augenmaß bestimmt, während man den Kopierrahmen vor oder unter die Lampe hält. Dieses Verfahren ist aus mehreren Gründen unzulässig. Erstens ist der Abstand von der Lampe immer mehr oder weniger verschieden, zweitens wird der Kopierrahmen häufig schief gehalten, und drittens ist die genaue Ablesung der Belichtungszeit an der Stoppuhr erschwert.

Die Belichtungsproben erfolgen so, daß man die Glassseite des Kopierrahmens mit einem Karton oder einem Kassettenschieber bedeckt und dann nach und

<sup>1</sup> H. PIIRSEN (6, S 169) empfiehlt folgende Auswahl von Entwicklungspapieren: Lupex-Kontrast (100), Sidi, hart (85), Tuma, hart (75), Sidi, normal (50), Mimosa, Velotyp (40), Senvela (30). Die Zahlen in den Klammern geben das Verhältnis der Belichtungszeiten an, wenn man die günstige Belichtungszeit bei Lupex-Kontrast mit 100 bezeichnet.



nach wegzieht, so daß man wie bei den Platten 4 oder 6 verschieden belichtete Streifen erhält, von denen jeder doppelt so lange belichtet wurde als der davor stehende. Man fangt auch hier mit der Hälfte der für die Reihe langsten Belichtungszeit an und wiederholt die kürzeste Belichtungszeit zweimal (s. S. 96). Recht bequem kann man solche Belichtungsreihen von positiven Bildern erzielen, wenn man an der Glassseite des Kopierrahmens entsprechende Nuten anfertigen läßt, was mit zwei aufmontierten Messingstreifen rasch und einfach geschehen kann. Man kann dann in diesen Nuten einen Karton oder Kassetten schieber unterbringen und beim Herausziehen die Breite der Streifen ebenso regeln, wie wir das schon bei den Belichtungsproben der Platten gesehen haben (s. S. 95). Auch was für die Belichtungsproben bei den Platten gesagt wurde, gilt für die Papiere. Eigentlich sollte man, vom ganz schablonenmäßigen Arbeiten abgesehen, nie versäumen, vor der Herstellung des positiven Bildes eine Belichtungsprobe zu machen, denn der Ausfall des positiven Bildes läßt sich nie, selbst unter sonst konstanten Verhältnissen, mit Sicherheit voraussagen. Besonders die graphische Wirkung der fertigen Bilder ist bei mikrophotographischen Aufnahmen aus den Negativen nur selten im voraus richtig zu beurteilen. Sehr verbreitet ist die Sitte, daß man jedes positive Bild in zwei oder drei Kopien nach verschiedenen Belichtungszeiten herstellt und dann die geeignetste auswählt. Da ist es schon zweckmäßiger, mit einer Belichtungsreihe die gewünschte graphische Wirkung herauszusuchen. Daß bei der Belichtung der Papiere kleine Mängel an den Negativen bis zu einem gewissen Grad wettgemacht werden können, dürfte allgemein bekannt sein. Hauptsächlich trifft das für die etwas unterbelichteten, aber richtig entwickelten oder die richtig belichteten aber etwas zu stark gedeckten Negative zu. Kurze Belichtung der Papiere bei überbelichteten oder zu kurz entwickelten (dünnen) Negativen hilft in der Regel nichts.

Was die Entwicklerlösungen für die Papiere anbelangt, ist es das zweckmäßigste, denjenigen Entwickler und in einer solchen Verdünnung zu benutzen wie es für die betreffende Papiersorte von der herstellenden Firma vorgeschrieben ist. ROMEIS (I, S. 452) empfiehlt zwei verschiedene Entwickler für wärmschwarze und für blaeschwarze Tone, die sich für die Abzüge mikrophotographischer Aufnahmen gut eignen.

#### Für wärmschwarze Töne

Destilliertes Wasser	1 l	Hydrochinon	3 g
Metol	1 g	Kristallisiertes Soda	70 g
Kristallisiertes Natriumsulfid	25 g	Bromkali	1 g

#### Für blaeschwarze Töne

Destilliertes Wasser	1 l	Hydrochinon	7 g
Metol	11,2 g	Kristallisiertes Soda	80 g
Kristallisiertes Natriumsulfid	45 g	Bromkali	3 g

Wie ROMEIS bemerkt, lassen sich weichere Bilder durch mehr Metol, härtere Bilder durch mehr Hydrochinon und Bromkali erzielen. Es sei noch daran erinnert, daß auch für die Entwicklung der Papiere eine Temperatur von 18—20°C die beste ist. Vor dem Einlegen in die Entwicklerlösung müssen die Papiere in der Dunkelkammer (bei rotem oder gelbem Licht) mit Wasser — und zwar lieber mit destilliertem als mit Leitungswasser — durchtränkt werden, damit sie den Entwickler gleichmäßig aufnehmen. Taucht man die trockenen Papiere in die Entwicklerlösung, oder legt man sie mit der Schichtseite auf die Oberfläche des Entwicklers, so können leicht Flecken entstehen dadurch, daß eine Stelle früher, die andere später mit dem Entwickler in Berührung kommt. In dem vorschriftsmäßig vorbereiteten Entwickler nach richtiger Belichtung

der Papiere erfolgt die Schwarzung binnen 40 Sekunden bis 1 Minute. Ein längeres Verweilen in der Entwicklerlösung kann dem Bild nur schaden. Momentan wird der Entwicklungsprozeß unterbrochen durch Überführen in eine 5proz. Essigsäurelösung. Das Fixieren, Auswaschen und Trocknen erfolgt genau so wie bei den Platten.

Die fertigen Papierbilder gewinnen viel an Wirkung, wenn man sie mit einem Hochglanz versieht. Nicht bloß ästhetische Gesichtspunkte spielen dabei mit, sondern auch die Tatsache, daß feinere Strukturen und Abtönungen dadurch scharfer sichtbar werden. Es sei noch bemerkt, daß mit der Zeit die Papierbilder ohne Hochglanz etwas matter erscheinen als kurz nach der Herstellung, während die Bilder mit Hochglanz auch nach Jahren unverändert bleiben, wenn sie sorgfältig aufgehoben sind (in Papierumschlägen oder im Bilderalbum mit Seidenpapier bedeckt). Zur Erzeugung des Hochglanzes wurden bis vor kurzem allgemein Glas- oder Steinplatten benutzt, die man dünn mit Wachs eingerieben hat. Die dazu nötige Wachslösung besteht aus  $1\frac{1}{2}$ — $2\frac{1}{2}$  g Wachs in 100 ccm Benzin oder Chloroform gelöst.

Die Papierbilder werden naß auf die Wachsschicht aufgelegt und mit einem Gummroller leicht angequetscht. Ratsamer ist es, erst die Papierbilder trocknen zu lassen und sie dann vor dem Quetschen wieder aufzuweichen. Dabei empfiehlt es sich, das Papier noch mit Formol zu harten (5proz. Formollösung), damit beim Abheben von der Wachsschicht keine Sprünge oder Risse entstehen. Aus dem Formolbad kommen dann die Papiere auf 15—30 Minuten ins Wasser und werden so gequetscht. Man läßt sie dann vollkommen trocknen und hebt sie vorsichtig ab, indem man die eine Ecke anfaßt und langsam das ganze Blatt von der Platte abzieht. Sollte das Bild noch an der Platte kleben, so darf man keine Gewalt gebrauchen, sondern muß eine Zeitlang abwarten, ob nicht durch längeres Trocknen das Hindernis behoben wird.

Seit einiger Zeit sind Zellophan oder Zelloidinfolien in dem Handel erhältlich (z. B. die Lustra-Folie von der Firma KODAK), auf die man die nassen Papierabzüge ohne weiteres aufquetschen kann. Nach dem Trocknen fallen dann die mit Hochglanz versehenen Abzüge leicht herunter. Mit diesen billigen Zellophanfolien, die monatelang gut zu gebrauchen sind, läßt sich der Hochglanz in bequemer Weise erzielen als mit der Wachsschicht auf den Glas- oder Steinplatten.

**55 Die Vergrößerung der Abzüge** (vgl. auch dieses Handbuch V, S. 277). Die Herstellung von Vergrößerungen oder Verkleinerungen erfolgt am besten mit den im Handel befindlichen Vergrößerungs- oder Verkleinerungsapparaten (z. B. mit dem Miraphot-Vergrößerungsapparat von ZEISS-Ikon (Abb. 56) oder dem Simplex-Universalapparat (Abb. 57) der Firma H. TRAUTMANN, München (vgl. DURCK [1])). Sehr gut verwendbar sind auch in der Mikro-



Abb. 56. Miraphot Vergrößerungsapparat  
(Aus B. ROMER [7, Abb. 125, S. 453])

photographie die preiswerten Lumimax-Vergrößerungsapparate, falls man eine entsprechende photographische Kamera mit Balganzug besitzt<sup>1</sup>. Hier empfiehlt es sich, statt Gaslichtpapieren die empfindlicheren Bromsilberpapiere zu benutzen, um nicht allzu lange belichten zu müssen. Die Handhabung der Apparate erlernt man am besten aus den beigegebenen Druckschriften (vgl. auch A. SONNEFELD [1]). Wichtig ist, beim Gebrauch solcher Apparate das passende Vergrößerungsmaß und die nötige Belichtungszeit

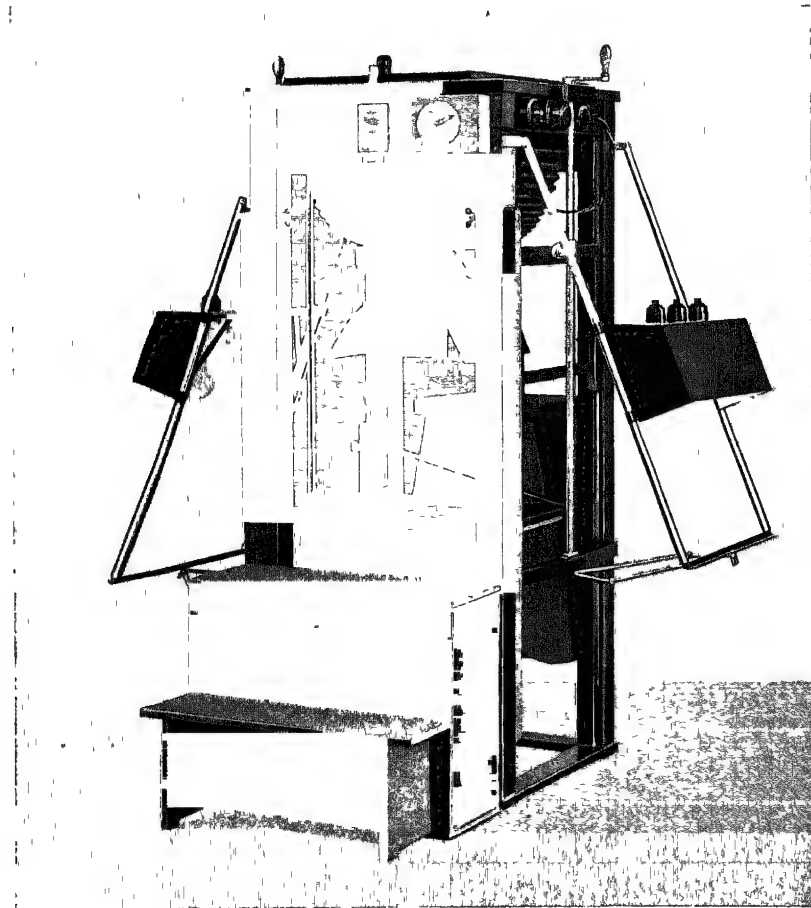


Abb. 57 Simplex-Universalapparat der Firma H. TRAUT

nichtig zu treffen. Eine übermäßige Vergrößerung, bei der das Korn der Platte sichtbar wird oder die Grenzlinien des mikroskopischen Bildes unscharf werden, ist unbedingt zu vermeiden. Man pflegt zumeist das Maß der Vergrößerung bei der Einstellung des Bildes auf das lichtempfindliche Papier (bei rotem Licht) zu bestimmen. In manchen Fällen wird es aber vorteilhafter sein, die Vergrößerung, bei welcher das Bild am günstigsten wirkt, durch Proben zu ermitteln. Stets ist es ratsam, zu Beginn der Arbeit mit einem Vergrößerungsapparat für einige typische Vergrößerungen (z. B. 2, 3, 1, 2, 1, 3, 1, 4) den

<sup>1</sup> Hersteller: Ihagee, Kamerawerk, Dresden-Striesen

Abstand zwischen dem Objektiv des Apparats und dem Papier aufzuzeichnen oder mit einem Zeichen am Gestell des Apparats kenntlich zu machen und dann die entsprechenden Belichtungszeiten durch Proben zu bestimmen. Werden die Aufnahmen mit Aufsatzkammern für kleine Platten ( $4\frac{1}{2} \times 6$ ) gemacht, so wird eine nachträgliche Vergrößerung der Aufnahme häufig gewünscht. Durch die Verbreiterung der Aufsatzkammer hat also auch das Verfahren der Abzugsvergrößerung eine erhöhte Bedeutung erhalten und manche Vorteile für die Abbildung lebender Zellen (s. S. 319) gebracht. Wie schon erwähnt, darf man bei solchen und ähnlichen Vergrößerungen der Abzüge nie die Grenze überschreiten, wo die Vergrößerung nachteilig wird und auf Kosten der Abbildungsschärfe oder der graphischen Kontraste erfolgt. Für Aufnahmen mit dem Phocü (ZEISS) und der Plattengröße  $4\frac{1}{2} \times 6$  cm liegen diese Grenzen z. B. etwa zwischen den Vergrößerungen 2/3 und 1/2. Ferner sei auch beachtet, daß eine nachträgliche Vergrößerung des Abzuges nur selten von der gleichen Güte ist wie dasselbe Bild bei derselben Vergrößerung auf der Platte. Man kann durch die Vergrößerung 1/2 von einer Aufnahme auf einer Platte  $4\frac{1}{2} \times 6$  dieselbe Bildfläche erhalten wie von einer Aufnahme, die man durch verlängerten Kammerauszug in diesem Maßstab direkt auf einer Platte  $9 \times 12$  erzielt hat. War das negative Bild auf der Platte  $4\frac{1}{2} \times 6$  scharf genug, so wird die Bildschärfe auch im vergrößerten Abzug genügend scharf erscheinen (vgl. Abb. 76 u. 77). Man wird jedoch bald merken, daß der Vergrößerung entsprechend auch die etwaigen Fehler in der Gradation oder sonstige Mängel des Negativs in erhöhtem Maß bemerkbar werden. Hart arbeitende Papiere (Aktographenpapier der Mimosa A-G, Agfa- und Bromid-Kontrast-Papier u. a.) ermöglichen oft die Vergrößerung von Abzügen nach etwas flauen Negativen. Im allgemeinen erhält man jedoch von unvergrößerten Abzügen stets bessere graphische Kontraste als von den vergrößerten. Zu Vergrößerungen 1/4 eignen sich nur die besten Negative.

Weitvolle Hilfe leistet in der Mikrophotographie das Vergrößerungsverfahren überall dort, wo man entweder die Beleuchtungsstärke oder die Belichtungszeit über ein bestimmtes Maß hinaus nicht steigern kann und eine günstige Belichtung deshalb unter den gegebenen Verhältnissen nur bei einem kleinen Bildfeld zu erhalten ist (Dunkelfeldaufnahmen bei starken Vergrößerungen, Momentaufnahmen lebender Zellen usw., s. S. 349). In solchen Fällen und ebenso dort, wo man schwache Objektive mit großer Tiefenschärfe den starken Linsen mit geringer Tiefenschärfe vorziehen muß (Gewebeulturen), wird man auf der Platte das Bild bei einer schwächeren Vergrößerung mit einem kleinen Bildfeld aufnehmen und nachträglich im Abzug vergrößern (s. Abb. 138 u. 139).

**56. Die Glasbilder** (vgl. H. WACHS [1, S. 404], und in diesem Handbuch VI I, VIII). Zur Herstellung von Glasbildern benutzt man die besonderen Diapositivplatten der verschiedenen photographischen Firmen (z. B. Agfa-Isolat- oder PERUTZ-Diapositivplatten, die von H. WACHS [1, S. 406] empfohlenen Eisenberger Diapositivplatten oder nach HÄNNKE [1] die Diapositivplatten für farbige Tönung usw.). Man wählt möglichst die Größe, welche in die Träger des Projektionsapparats gut hineinpaßt, am häufigsten also die Plattengröße  $9 \times 12$  oder die quadratische Form  $8\frac{1}{2} \times 8\frac{1}{2}$ , welche den Vorteil hat, daß man für hochstehende und querstehende Bilder die gleichen Träger verwenden kann. Die Anfertigung der Glasabzüge (Belichtung, Entwicklung usw.) erfolgt in der gleichen Weise wie die der Papierabzüge. Auch hier ist auf die Reinheit der Schichtseiten peinlichst zu achten.

Man halte einen weichen Pinsel zum Abstauben der Platten bereit und staube damit vor dem Zusammenlegen die Schichtseiten des Negativs und der Diapositivs.

platte sorgfältig ab. Auch Fehler in der Glasschicht der Diapositive können die Güte des Bildes Abbruch tun. Es ist daher ratsam, die Diapositivplatten erst Durchsicht zu prüfen, bevor man sie auf die Negative legt.

Bei der Entwicklung der Platte hat man die Möglichkeit, dem Bild eine angenehme Tönung zu verleihen. Während für Entwicklungspapiere eine tiefe schwarze Tönung vorteilhafter ist, kann man die Glasbilder ebenso gut in einer wärmeren Tönung halten (vgl. P. HANNEKE [1]). Mit einem lichtstarken Projektionsapparat wirken häufig die kalt getonten Bilder auf sehr weißen Projektionsflächen ermüdend, während Bilder mit einer warmen Tönung sehr angenehm sind und auch auf die Dauer nicht ermüden. Dauert die Vorführung länger, so wird es sich als vorteilhaft erweisen, wenn abwechselnd kalt und warm getonte Diapositive gezeigt werden. Bilder mit starken Kontrasten oder mit ausgedehnten dunklen Stellen (z. B. Furchungsstadien von Amphibien-Eiern, Schnittpräparate mit vielen Pigmentzellen u. a.) wirken in warmen Tönen besser als in kalten. Schöne braune Töne erhält man, wenn man dem Entwicklungstropfenweise Brenzkatechin (aus einer 5proz. Lösung) zusetzt. Eine warm-schwarze Tönung erreicht man auch mit dem angegebenen Entwickler nach ROME (s. S. 122). Glasbilder von ungefarbten lebensfrischen Objekten wirken dagegen besser, wenn sie in einem kaltschwarzen Ton gehalten sind.

Ist die Diapositivplatte entwickelt, fixiert, gewaschen und staubfrei getrocknet, so muß sie mit einer Deckscheibe vor Schädigungen geschützt werden. Nachdem man die zueinander gekehrten Glasflächen der zusammengehörenden Glasplatten mit dem weichen Pinsel nochmals sorgfältig abgestaubt hat, legt man gewöhnlich zwischen der Gelatineschicht der Diapositivplatte und der Deckscheibe eine Maske (Vignette) ein, welche nur die zu projizierende Bildfläche (Bildausschnitt) frei läßt. Die Masken haben eine doppelte Bedeutung: sie verhindern das unmittelbare Anliegen der Deckscheibe an die Gelatineschicht. Die Deckscheibe kann also nicht mit der Gelatine der Platte zusammenkleben, wenn diese bei einer längeren Projektion von der strahlenden Wärme der Lampe aufgeweicht wird. Zweitens aber steigert die Maske in hohem Maße die Kontrastwirkung des projizierten Bildes. Masken für verschiedene Plattengrößen und Bildausschnitte sind im Handel fertig zu haben.

Deckscheibe und Diapositivplatte werden zum Schluß durch Umklebmasse mit Klebstreifen, und zwar nach dem Vorschlag von H. WACHS (1, S. 408) mit den gummierten U-Form-Trockenklebstreifen, vereinigt, indem man die Trockenklebstreifen mit einer dafür konstruierten Plattzange rings um die Diapositiv herum andrückt. Die Klebmasse der Streifen wird dabei zu Schmelzen gebracht und kittet im Moment des Erstarrens die Glasplatten fest zusammen.

Sehr geeignet sind die Glasbilder zur Vorführung gefärbter Objekte. Die früher vielfach geübte Bemalung schwarz-weißer Glasbilder kommt heute nur selten zur Ausführung, am meisten noch bei der Herstellung von Glasbildern nach schematischen Zeichnungen, tabellarischen Zusammenstellungen, Funktionskurven, kurz bei Aufnahmen, die außerhalb des Gebietes der Mikrophotographie liegen. Zu den Glasbildern farbiger mikroskopischer Objekte eignen sich am besten die Aufnahmen auf Farben-Rasterplatten (s. dieses Handbuch VIII, 188 und diesen Band, S. 143). Die Farben-Rasterplatten haben in der Mikrophotographie, wie auch allgemein in der wissenschaftlich angewandten Photographie gerade als Glasbilder ihre größte Bedeutung. Eine mit Lackschicht überzogene und mit der Deckscheibe geschützte Aufnahme auf einer Farben-Rasterplatte ist zugleich ein fertiges Glasbild zum Bildwurf. Es sei jedoch bemerkt, daß die Wirkung des Bildes auf dem Schirm von der Flächenhelle stark

abhängig ist und die Farbenasterplatten stets weniger Licht durchlassen als die schwarz-weißen Diapositivplatten. Nur mit lichtstarken Projektionsapparaten bei richtig belichteten (eher etwas über- als unterbelichteten) und nicht zu dicht entwickelten Farbenasterplatten wird das günstige Farbenbild erscheinen.

Die Bedingungen einer geeigneten Projektion des Glasbildes und die hierbei mitwirkenden Faktoren sind in diesem Handbuch VI 1, S. 234, eingehend geschildert. Hier sei nur noch auf einen besonderen bei mikrophotographischen Aufnahmen wichtigen Umstand hingewiesen, daß nämlich Glasbilder mit einem großen Bildfeld (z. B. solche mit einem Durchmesser von 9 cm) sich zu Projektionen aus größerer Entfernung besser eignen als solche mit einem kleinen Bildfeld (z. B. solche mit einem Durchmesser von 4 cm). Bleiben Schirmabstand und Objektivstärke konstant, wie das bei eingebauten oder schweren Apparaten der Fall ist, so werden auf dem Schirm die kleineren Glasbilder stärker vergrößert als die größeren, was einen Verlust an Schärfe, Kontrastwirkung und Bildhelligkeit verursacht wird. Die Aufnahmen mit den Aufsatzkammeinen auf Platten von  $4\frac{1}{2} \times 6$  wirken deshalb als Glasbilder (einzeln oder zu mehreren auf einer Glasplatte  $9 \times 12$  mit den entsprechenden Masken montiert) weit ungünstiger als die Aufnahmen in derselben Vergrößerung auf einer  $9 \times 12$ -Platte mit einem größeren Bildfeld. Das zweckmäßigste ist also, die Aufnahmen, die man in Lichtbildern vorführen will, gleich auf der geeigneten Plattenform mit einem großen runden Bildfeld (schwächerem Okular, längerem Kameraauszug) zu erzeugen oder dort, wo man Aufnahmen auf kleineren Platten verwenden muß, diese bei der Herstellung der Glasbilder der Plattengröße  $9 \times 12$  (oder  $8\frac{1}{2} \times 8\frac{1}{2}$ ) entsprechend zu vergrößern. Außerdem für die Projektion kommen Glasbilder auch dann in Betracht, wenn man das mikroskopische Bild bei denselben Lichtverhältnissen wie im Mikroskop eingehender untersuchen oder anderen Personen vorführen will. Vom mikroskopischen Bild erhält man die einzig richtige photographische und überhaupt die beste Wiedergabe nur durch das Glasbild (vgl. S. 13). Das Papierbild vermag nur einen Bruchteil der Lichtwirkungen wiederzugeben, aus denen das mikroskopische Bild besteht, und selbst den besten farbigen Zeichnungen fehlen die feinen Unterschiede im Leuchten der Strukturen, welche für das mikroskopische Bild charakteristisch sind. Zur genaueren Betrachtung von Dunkelfeldaufnahmen erweisen sich die Glasbilder weit geeigneter als die Papierbilder, namentlich dann, wenn man ultramikroskopische Objekte (Ultrateilchen, Bakterien usw.) in einem Gesichtsfeld auszuwählen muß. Durchleuchtet man solche Glasbilder, so erhält man immer wieder das Dunkelfeldbild mit seiner charakteristischen Lichtwirkung so wie im Mikroskop. Dasselbe gilt auch für die Aufnahmen im polarisierten Licht.

### XIII. Der Einfluß der Wellenlänge des Lichts auf das mikrophotographische Bild. Die Lichtfilter.

**57. Die Empfindlichkeit der Platten für verschiedene Wellenbereiche.** In den bisherigen Erörterungen wurde die Frage nach der Natur des Lichtes, mit dem die Belichtung erfolgt, noch nicht angeschnitten. Hier soll nun diese Frage (vgl. dieses Handbuch IV 201 und VIII) eingehender beantwortet werden, und zwar nach zwei Richtungen hin, denn die Wellenlänge der beleuchtenden und abbildenden Lichtstrahlen wird 1. die Gradation auf der Platte, 2. aber auch die Auflösung des mikroskopischen Bildes (vgl. S. 19) entscheidend beeinflussen. Die Empfindlichkeit des Auges ist bekanntlich für die verschiedenen Spektralbereiche des

zusammengesetzten (weißen) Lichtes anders geartet als die der photographisch Platte Während das Auge für die gelbgrünen Strahlen (Wellenlänge 589 l 527  $m\mu$ ), d. h. für den Spektrumbereich zwischen den FRAUNHOFERSchen Linien *D* und *E* am empfindlichsten ist, liegt das Maximum der Empfindlichkeit für eine gewöhnliche nicht sensibilisierte photographische Platte im blauen Bereich (Wellenlänge 431  $m\mu$ ), der FRAUNHOFERSchen Linie *G* entsprechend. Nicht nur das Maximum der Empfindlichkeit liegt in verschiedenen Spektralbereichen, sondern auch die Grenzen für das langwellige und kurzwellige Licht weisen charakteristische Unterschiede auf. So wurde festgestellt, daß das Auge für Lichtstrahlen unter 400  $m\mu$  (ultraviolett) und über 760  $m\mu$  (ultrarot) vollkommen unempfindlich ist, während die gewöhnliche photographische Platte auch

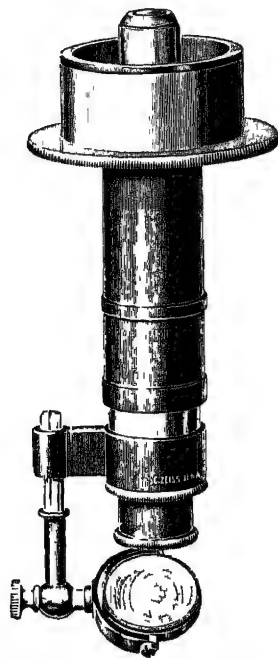


Abb. 58 Mikrospektalkondensor  
(Aus ZEISS-Druckschrift  
Mikro 400)

ultravioletten Gebiet deutlich geschwärzt wird. Im langwelligen Bereich erhält man nur bis zur FRAUNHOFERSchen Linie *F* (Wellenlänge 486  $m\mu$ ) eine ausgeprägte Schwaizung auf der Platte, die dem roten Ende immer unempfindlicher wird (vgl. J. M. EDER [2]).

Über die Empfindlichkeit der photographischen Platten erhält man die nötigen Aufschlüsse am besten mit einem Spektrographen, der als Zusatzapparat zu den großen mikrophotographischen Apparaten von den optischen Firmen geliefert wird (vgl. A. KOHLER [8, S. 1862]). Solche einfachen Spektrographen mit Prisma und Kollektiv, die etwa dasselbe leisten wie bei makroskopischen Beobachtungen die Handspektroskope, eignen vollkommen sowohl zur Bestimmung der Empfindlichkeit verschiedener Plattensorten in den verschiedenen Wellenbereichen gegenüber als auch als Mikrospektrographen zur Ermittlung der Helligkeit farbiger Präparate in den verschiedenen Spektralbereichen (Abb. 58).

Man stellt zuerst vor der Kollektorblende der Lampe (welche vollständig geöffnet sein soll) einen verstellbaren Keilspalt auf und befestigt in der Schiebhülse des Beleuchtungsapparats mit Hilfe der Zentrier Vorrichtung (s. S. 52) ein geradsichtiges Prisma und eine schwach aplanatische Linse, z. B. ein Planar oder Mikrotar 35 mm, welche als Kollektiv wirkt. Um das Prisma mit seiner Fassung, welche mit dem Anschraubgewinde der Kollektive versehen ist, einschrauben zu können, muß man

den Flansch der Schiebhülse entfernen. Ebenso entfernt man den Ring aus der Zentrier Vorrichtung, die zum Einschrauben der Objektivkondensoren dient, und schraubt an dieser Stelle das Kollektiv ein. In die Zentrier Vorrichtung eingesetzt, dreht man das Schiebepaar so lange, bis die brechende Kante des Prismas mit dem Spiegelbild des Spaltes parallel steht. Das Licht der Lichtquelle von dem Kollektor in die Ebene der Kondensorblende konzentriert, fällt durch den Spalt auf das Prisma, dieses zerlegt das Licht in ein Spektrum, welches vom Kollektiv in die Ebene des Objekttisches entworfen wird. Um das Spektrum genau in die Tischoberfläche zu projizieren, stellt man das Kollektiv mit der Triebbewegung des Beleuchtungsapparats etwas unterhalb der Tischoberfläche ein. Das erhaltene Spektrum wird nun von einem schwachen Objektiv, Mikrotar 70 mm oder Mikropolar 75 mm, auf die Mattscheibe der mikrophotographischen Kammer abgebildet und kann so photographiert werden. Zweckmäßig ist es, auch das Bild eines Objektmikrometers 10 mm, in Millimeter geteilt, gleichzeitig abzubilden, damit man nach den Teilungen die einzelnen Spektralbereiche markieren und verschiedenen Aufnahmen eine bestimmte Marke immer wieder auf dieselben Spektrallinien einstellen kann. Solche Linien erhält man entweder mit einer Natriumlampe oder aber mit einer Quecksilberlampe oder aber mit einer Kohlenbogenlampe, wenn man

das Licht des Lichtbogens zwischen den Kohlen zur Beleuchtung benutzt. Auch die mit Neon gefüllten Wechselstrom-Punktlicht-Lampen eignen sich gut für Aufnahmen von einzelnen Spektrallinien, denn bei richtiger Zentrierung des Lichtbogens zwischen den zwei Wolframelektroden erhält man bei dem kontinuierlichen Spektrum der letzteren die einzelnen Linien des glühenden Neongases. Außer der geschilderten Anwendung der Vorrichtung als Mikrospektalkondensor kann man mit geringen Abänderungen dieselbe Einrichtung auch als vereinfachtes Mikrospektalobjektiv benutzen in allen Fällen, wo man die Helligkeitskontraste gefärbter Präparate für die einzelnen Spektralbereiche prüfen will. Dazu entfernt man das Kollektiv und setzt statt des Mikrotars oder -planars 35 mm ein schwaches oder mittelstarkes Objektiv ein. Das Spektrum wird nun durch diese Linse in die Tischebene projiziert und fällt auf das dort befindliche Präparat. Man kann auf diese Weise das Bild des Objekts mit dem ganzen Spektrum entsprechend vergrößert beobachten und photographieren oder aber das Bild bzw. schmale Streifen desselben auf bestimmte Spektralbereiche einstellen. Ein dem beschriebenen Apparat ähnlicher Mikrospektalkondensor wird neuerdings von der Firma ZEISS zur Prüfung der Farbfilter empfohlen. Dieser hat keine Zentrier Vorrichtung und weist als Kondensor ein dreiteiliges Objektiv auf. Je nachdem man das ganze Objektivsystem oder nur die zwei letzten bzw. nur die letzte Linse desselben benutzt (die zwei vorderen Linsen sind abschraubbar), reicht das projizierte Spektrum für die Beobachtungsobjektive 40fach, Ap 0,65, 20fach, Ap 0,4, und 8fach, Ap 0,20, aus.

Zu spektrophotographischen Aufnahmen für wissenschaftliche Zwecke, wo also auf die Einzelheiten in der Photographie des Spektrums Gewicht gelegt wird, muß man natürlich die dafür allein geeigneten Spektrographen, Spektrookulare und Spektralkammern benutzen (vgl. dieses Handbuch VIII, 88 und A KOHLER [5]). Bei der uns hier beschäftigenden Frage handelt es sich jedoch nicht um das Spektrum als photographisches Objekt, sondern nur darum, daß wir mit dem geschilderten einfachen Spektralkondensor nachweisen, welche Lichtwellenbereiche des weißen Lichts die stärkste Schwarzung auf der photographischen Platte hervorrufen, welche Unterschiede diesbezüglich zwischen den verschiedenen Plattensorten zu bemerken sind, und wie weit sich die Unterschiede in der photochemischen (aktinischen) Wirkung der einzelnen Wellenbereiche durch die Lichtfilter abstufen oder steigern lassen.

Da müssen wir zunächst feststellen, daß sowohl das mikroskopische wie selbstverständlich auch das mikrophotographische Bild aus den Einzelbildern zusammengesetzt ist, welche die einzelnen Wellenbereiche des weißen Lichtes, d. h. die sichtbaren roten, gelben, gelbgrünen, blauen und violetten Strahlen, jede für sich, liefern und die sich in der Bildebene zu einem Gesamtbild vereinigen. Benutzt man zur Beleuchtung monochromatisches Licht, entweder mit einem Monochromator oder durch Isolierung einzelner enger Spektralbereiche mit Lichtfiltern, so erhält man nur das Einzelbild, welches die Lichtstrahlen von dem betreffenden Wellenbereich (z. B. 614—574  $m\mu$  oder 540—505  $m\mu$ ) erzeugen. Welches von diesen Einzelbildern das Gesamtbild beherrschen wird, hängt von der Wirkung ab, welche es auf die lichtempfindliche Schicht, sei es die Netzhaut des Auges oder die Bromsilberemulsion der photographischen Platte, ausübt. Je stärker diese Wirkung im Vergleich zur Wirkung der anderen Einzelbilder ist, je heller sie also von dem Auge empfunden wird oder je stärker die von ihr verursachte Schwarzung auf der photographischen Platte ist, um so größer wird der Einfluß des Einzelbildes auf den optischen Charakter des Gesamtbildes sein. Das Auge wird am schärfsten und am intensivsten das Einzelbild wahrnehmen, das die gelben und gelbgrünen Strahlen erzeugen. Die gewöhnliche photographische Platte wird dagegen ein Bild zeigen, welches vom Einzelbild der kurzwelligen blauen und violetten Strahlen beherrscht ist. Dieser Unterschied in der Lage der maximalen Empfindlichkeiten (die sog. chemische oder aktinische Fokussdifferenz) hat vor der Einführung der apochromatischen Objektive (s. dieses Handb. I, 223) die Erzeugung eines scharfen Bildes auf der Platte



sowohl in der Makro- wie auch in der Mikrophotographie — und zwar hier erhöhtem Maße — erschwert, denn das subjektiv scharf eingestellte Bild erscheint auf der Platte unscharf. Man stellt nämlich bei subjektiver Beobachtung stets auf das Einzelbild der gelben und gelbgrünen Strahlen scharf ein, das man am besten sieht und dessen Bildebene der Hauptebene des für das Auge achromatischen Mikroskopobjektivs etwas näher liegt als die Bildebene der kurzwelligen blauen und violetten Strahlen. Das Maximum der Empfindlichkeit liegt jedoch bei der photographischen Platte im Bereich der blauen und violetten Strahlen; demzufolge das Gesamtbild auf der Platte nur dann scharf abgebildet wird, wenn das von den kurzwelligen Strahlen erzeugte Einzelbild scharf eingestrichen wurde. In früheren Zeiten, als die Apochromate und die sensibilisierten photographischen Platten noch nicht bekannt waren, hat man in der Hauptsache durch eine Beleuchtung mit monochromatischem Licht die von der Fokaldifferenz herrührende Unschärfe des Bildes zu verhindern getrachtet (s. N. HAUSS [1]). Auch heute noch empfiehlt es sich bei Aufnahmen mit Achromaten auf eine gewöhnliche (nicht sensibilisierte) photographische Platte, die schärfe Einstellung bei blauem Licht vorzunehmen. Am besten eignet sich dazu ein blaues Filter, und zwar ein blau-violettes Glas (z. B. das Kobaltglas der F. SCHOTT, Jena) in Verbindung mit einer 15proz. Kupfersulfatlösung. Stellt man so auf das von den blauen Lichtstrahlen gelieferte Einzelbild scharf ein, so wird man auch dann eine scharfe Aufnahme erhalten, wenn man nachträglich den Lichtfilter entfernt. Erfolgt die Aufnahme mit Objektiven, die auf die Farbabweichung genügend korrigiert sind und benutzt man dabei orthochromatische oder panchromatische Platten, so sind die von der chemischen Fokaldifferenz verursachten Störungen vollständig ausgeschaltet. Seit der Zeit also, wo man die Regel derart korrigierte Objektive und sensibilisierte Platten in der Mikrophotographie verwendet, hat die sog. chemische Fokaldifferenz ihre Bedeutung wesentlich eingebüßt. Auch heute mit den korrigierten Objektiven und sensibilisierten Platten muß jedoch die Aplanasie des optischen Systems und das Verhältnis der Sensibilitätsmaxima der Platte in den verschiedenen Wellenbereichen genau berücksichtigt werden, wenn man von einem bestimmten Objekt bei einer bestimmten Vergrößerung die bestmögliche Bildschärfe erzielen will. So sei beachtet, daß man von ungefarbten Objekten bei schwachen und mittelstarken Vergrößerungen auf orthochromatischen Platten auch mit Achromaten leidlich scharfe Bilder erhalten kann, bei starken Vergrößerungen jedoch nur Fluoritsysteme und die Apochromate mit den entsprechenden Kompensations- oder wölbungsmindernden Okularen und mit Homalen eine genügende Bildschärfe zu liefern vermögen. Die Wiedergabe gefarbter Objekte bei schwachen und starken Vergrößerungen erfordert stets die beste Korrektur des optischen Systems und die geeignetste Sensibilisierung der Platte (s. S. 24 u. 388).

**58. Die tonrichtige Wiedergabe gefarbter Objekte mit sensibilisierten orthochromatischen Platten.** Die durch die Färbung verursachten Helligkeitsunterschiede (denn auf diese kommt es natürlich bei allen nichtfarbigen photographischen Aufnahmen an) werden mit nicht sensibilisierten Platten nicht wiedergegeben, da diese für die Spektralbereiche von Gelbgrün bis Blau wenig oder überhaupt nicht empfindlich sind. Hat man also ein Präparat z. B. mit Azokarmin-MALLORY-Färbung eingestellt, wo die Muskeln bei subjektiver Beobachtung rotlich-orangelarbig leuchtend hell, die umgebenden Bindegewebebläuen aber blau gefärbt dunkel erscheinen, so wird man auf einer gewöhnlichen photographischen Platte, wenn das Licht der Larve viel blaue und violette Strahlen enthält und kein Lichtfilter vorgeschaltet, genau die umgekehrte Wirkung erhalten, nämlich eine dunklere Tönung

Muskulatur und eine hellere der Bindegewebsfasern. Noch weniger wird die Aufnahme gefarbter Präparate auf gewöhnlichen photographischen Platten befriedigen, wenn man das Präparat nur mit einer roten Farbe (z. B. Karmin, Karminalaun oder Fuchsinrot) oder rot und gelb (z. B. Pikrokarmine) gefärbt hat. Bei subjektiver Beobachtung erscheinen die Kontraste zwischen den rot gefärbten und den ungefärbten bzw. gelb gefärbten Stellen recht deutlich, in der photographischen Aufnahme erhält man jedoch ein flaches Bild, da die Platte für das Rot unempfindlich, für das Gelb aber nur sehr wenig empfindlich ist. Bei Vorschaltung entsprechender Lichtfilter kann man auch in solchen Fällen noch einigermaßen objektgetreue Kontraste erzielen, viel einfacher lassen sich natürlich in der Schwarz-weiß-Photographie die Farbenkontraste mit orthochromatischen oder panchromatischen, d. h. für mehrere Wellenbereiche sensibilisierten Platten richtig wiedergeben.

Die in der Mikrophotographie meist benutzten orthochromatischen Platten weisen ein Maximum der Empfindlichkeit im Blau und ein zweites — je nach der Art der Sensibilisierung verschieden hohes — Maximum im Gelb und Gelbgrün auf (s. dieses Handbuch V, S. 105). Abgesehen von Unterschieden in der Lage der Maxima bei orthochromatischen Platten verschiedener Herkunft, wird diese auch bei einer und derselben Plattensorte vom Gehalt des Lichts an kurzwelligen Strahlen stark beeinflusst. Beleuchtet man mit Sonnenlicht, Tageslicht oder mit einer Kohlenbogenlampe, deren Licht reich an blauvioletten und ultraviolett Strahlen ist, so wird die Schwarzung der Platte (bei einer spektrophographischen Aufnahme) im blauvioletten Bereich des Spektrums viel stärker erscheinen als das Sensibilisationsmaximum im gelbgrünen und gelben Bereich. Bei Lichtquellen, deren Licht an kurzwelligen Strahlen verhältnismäßig arm ist, wie z. B. bei den Punktlichtlampen, Röhrenprojektionslampen und Bandlampen, kann man dagegen eine gleich starke Schwarzung im gelbgrünen Wellenbereich erhalten wie im blauen, hier und da sogar eine stärkere.

Was für Folgen haben diese Eigenschaften der Strahlen und der Platten für die Aufnahme gefärbter mikroskopischer Präparate? Wählen wir als erstes Beispiel ein Schnittpräparat mit Boraxkarmin nach GRENACHER und dann ein solches mit Karminalaun nach P. MAYER gefärbt. Bei der Boraxkarminfärbung erhält man die Kerne kirschrot, die Zellkörper mehr oder weniger rosa gefärbt. Die Reinheit der Farbe kommt dem Spektralrot recht nahe, was so viel bedeutet, daß die rot gefärbten Strukturen ausschließlich rote Lichtstrahlen auf die Platte senden werden. Die Folge davon wird sein, daß die im subjektiven Bild deutlich vorhandenen Kontraste zwischen Zellkern und Zellkörper auf der orthochromatischen Platte, welche für Rot nicht sensibilisiert ist, kaum zum Ausdruck gelangen. Wir werden diesbezüglich keine wesentlichen Unterschiede zwischen einer Aufnahme auf orthochromatischer und einer anderen auf gewöhnlicher photographischer Platte bemerken. Ein wesentlicher Unterschied wird aber doch bemerkbar sein, nämlich der Kontrast zwischen den gefärbten Strukturen und dem freien Schfeld. Für das weiße oder etwas gelbliche Licht des freien Schfeldes ist nämlich die orthochromatische Platte sensibilisiert. Demzufolge werden diese Stellen im positiven Bild recht hell erscheinen, während die rot gefärbten Strukturen im Vergleich zum hellen Hintergrund dunkler erscheinen werden, als man sie subjektiv beobachtet hat. Eine gestrigte Kontrastwirkung wird also im Bild auftreten, aber nicht zwischen den rot gefärbten Strukturen, sondern zwischen den letzteren und dem hellen Hintergrund. Besonders charakteristisch ist diese Erscheinung für Übersichtsbilder embryologischer Schnittpräparate, die mit Karmin gefärbt wurden und bei denen zwischen den Strukturen viel freies Schfeld sichtbar ist. Legt man auf zytologische Einzelheiten

keinen besonderen Wert, wie das bei solchen Übersichtsbildern auch meistens der Fall ist, so wirkt der starke Kontrast zwischen den in ihrem Ganzen dunkel gehaltenen Keimblättern, Organanlagen und ähnlichen groberen Formelementen des mikrophotographischen Bildes und dem hellen Hintergrund recht günstig.

Etwas anders gestaltet sich das mikrophotographische Bild, wenn man das Präparat mit Karmalaun gefärbt hat. Diese Färbung zeichnet sich bekanntlich dadurch aus, daß sie fast rein nur die Zellkerne färbt, und zwar diese in einem roten Ton mit einem bläulichen Schimmer. Außer roten Strahlen senden also die gefärbten Stellen auch blaue Strahlen, was zur Folge hat, daß man eine sehr gute Abbildung sowohl der gefärbten Stellen als auch des freien Sehfeldes auf der orthochromatischen Platte erhält.

Betrachten wir nun den Fall, wo man auf einer orthochromatischen Platte ein mit Azokarmín-MALLORY gefärbtes Präparat (s. S. 130) abbildet. Ist die orthochromatische Platte für die Spektralbereiche zwischen Gelb und Violett empfindlich genug, so wird man außer der Kernfärbung alle Helligkeitsabstufungen des mikroskopischen Bildes im Mikrophotogramm durch entsprechende Unterschiede in der Tonung wiederfinden. Besonders bei solchen Objekten, wo die Struktur nicht zu dicht ist und viel freies Sehfeld enthält (lockeres Bindegewebe, Übersichtspräparate von Larven und Embryonen) wird die Tonung des Bildes so erscheinen, wie man sie von der mikroskopischen Beobachtung her gewohnt ist. Allerdings eignet sich die Azokarmínfärbung zur photographischen Darstellung der Kerne nicht, denn bei der Unempfindlichkeit der orthochromatischen Platten für rotes Licht werden die Kerne ohne scharfe Zeichnung und dunkler dargestellt als im mikroskopischen Bild. Wo es sich also darum handelt, die Kernstruktur scharf abzubilden, wird man bei der MALLORY-Färbung oder den ähnlichen Doppel- und Dreifachfärbungen (Pikio-Blauschwarz, Alizarinrot S, Anilinblau und Orange usw.) die tiefblauen und schwarzen echten Kernfarbstoffe nach S. BECHER oder die Eisenhamatoxylinfärbung nach WEIGERT und M. HEIDENHAIN vorziehen (vgl. S. 393). Sollen die im Präparat rot gefärbten Stellen im schwarz-weißen Bild möglichst mit derselben Kontrastwirkung wie im mikroskopischen Bild wiedergegeben werden, so eignen sich dafür allerdings nur die panchromatischen Platten<sup>1</sup>, die auch für den orangeroten Spektralbereich sensibilisiert sind.

Wie weit nun die orthochromatischen oder panchromatischen Platten die Helligkeitsunterschiede im gefärbten Präparat richtig wiedergeben werden, hängt, wie schon früher erwähnt, außer von der Sensibilisierung auch von der Zusammensetzung des Lichtes ab (vgl. K. FORGE [1]). Sind blauviolette und ultraviolette Strahlen reichlich vorhanden, so wird im Gesamtbild das Einzelbild vorherrschen, das von diesen Strahlen geliefert wird. Die Helligkeitsunterschiede in den blau oder bläulich gefärbten Stellen werden kontrastreich abgebildet, während die gelb oder rötlich gefärbten Stellen flau und ohne Kontraste erscheinen. Bei Lichtquellen aber, deren Licht an kurzwelligen Strahlen arm ist (s. S. 133), erhält man eine den Helligkeitsunterschieden im Präparat entsprechende Abtonung sowohl für die gelb als für die blau gefärbten Stellen. Ist wiederum das benutzte Licht stark gelb gefärbt, wie z. B. bei einer gewöhnlichen EDISON-Birne, so kann das Bild der blau gefärbten Stellen flau erscheinen. Dieser letztere Fall dürfte übrigens in der heutigen mikrophotographischen Praxis kaum mehr vorkommen. Ganzlich darf man jedoch auch diese Möglichkeit nicht außer acht lassen, da bei manchen orthochromatischen Platten die Sensibilisation in

<sup>1</sup> Die Entwicklung und Nachbehandlung der panchromatischen Platten erfolgt nach den Vorschriften, die den Packungen solcher Platten beigegeben sind (vgl. auch dieses Handbuch, Bd V, S. 101 und Bd VIII, S. 150 u. 153).

Gelb und in Blau so gleichmäßig gehalten ist oder sogar im Gelb noch stärker sein kann als im Blau, daß ein Mangel an kurzwelligen Strahlen die richtige Abtonung der blau gefärbten Strukturen ungünstig beeinflussen wird.

Über die Farbe der künstlichen Lichtquellen und ihren Gehalt an roten, grünen und blauen Strahlen befinden sich ausführliche Angaben in diesem Handbuch Bd VIII, S 72ff. Wie dort v. HUBL schreibt, enthält selbst das Licht der Bogenlampe nur 40% blaues Licht (wenn das weiße Tageslicht = 100 gesetzt ist) und ist also deutlich rotorange gefärbt, obwohl es uns im Vergleich mit den übrigen Lichtquellen weiß oder sogar bläulich erscheint. Alle unsere mikroskopischen und mikrophotographischen Lampen spenden also ein an kurzwelligen Strahlen verhältnismäßig armes Licht. Die Halbwattlampen enthalten 14% Blau, und nicht wesentlich größer dürfte der Gehalt an blauen Strahlen bei den Punktlichtlampen und Projektionsöhrenlampen sein. Soll das Maximum der Empfindlichkeit im blauen Bereich der Platte voll wirksam werden, wie das bei den Aufnahmen ungefarbter oder tiefblau gefärbter Objekte am vorteilhaftesten ist, so muß man entweder durch eine Beleuchtung mit anderen an blauen Strahlen reicheren Lichtquellen, z. B. Kohlenbogenlampen oder durch entsprechende Lichtfilter bzw. durch eine Beleuchtung mit monochromatischem Licht dafür sorgen, daß die Platte kurzwellige Strahlen in dem richtigen Verhältnis erhält.

Im Bd VIII, S 71 dieses Handbuchs gibt v. HUBL zur Prüfung des weißen Tageslichts ein Instrument, den Lichtprüfer, an, ferner zur Beurteilung der Farbe künstlicher Lichtquellen eine einfache Einrichtung mit einem Spiegel oder rechtwinkligem Prisma und einem Fernrohr. Die letztere Einrichtung sollte eigentlich in keinem mikrophotographischen Laboratorium fehlen, denn die gewünschte Gradation auf den Platten und die dazu nötige Auswahl der Lichtfilter kann nur dann richtig erfolgen, wenn die Grundfarbenzusammensetzung der benutzten Lichtquelle bekannt ist. Die subjektive Beurteilung der Farbe unserer Lampen wird selten ausreichend sein, da man nach längerem Mikroskopieren, namentlich in einem Raum, der ebenfalls mit elektrischem Licht beleuchtet ist, die Farbe der Sehfeldbeleuchtung nie richtig beurteilen kann.

**59. Die Lichtfilter (Farbenfilter)** Um den Einfluß von Lichtstrahlen verschiedener Wellenlänge zu regeln, benutzt man die Lichtfilter, welche aus dem Lichtstrom nur bestimmte Spektralbereiche durchlassen und alle übrigen mehr oder weniger zurückhalten (Tabelle 13 u 14). Die Bedeutung solcher Lichtfilter für die Photographie, ihre physikalischen Eigenschaften, ihre Herstellung und Verwendung, wurden schon in den Banden IV und VIII dieses Handbuchs eingehend geschildert.

In der Mikrophotographie benutzt man hauptsächlich die Kontrastfilter und die Kompensationsfilter. Die übrigen Arten von Lichtfiltern, nämlich die Komplementärfilter, die Selektionsfilter und die monochromatischen Filter, kommen nur für besondere Fälle (Farbenphotographie) in Betracht. Wie die Namen schon sagen, benutzt man Kontrastfilter bei solchen Aufnahmen, wo man die Kontraste, d. h. die Helligkeitsunterschiede, scharf zur Geltung bringen will; die Kompensationsfilter aber dort, wo man — wie bei mehrfach gefärbten Objekten — die Tonung des gefärbten Objekts in der schwarz-weißen Photographie objektgetreu wiederzugeben trachtet.

Als Kontrastfilter bezeichnet man also solche, welche nur diejenigen Spektralbereiche durchlassen, in denen die größten Helligkeitskontraste des mikroskopischen Bildes liegen. Ist das Präparat z. B. rot und blau gefärbt, so wird der mittlere Teil des Spektrums (Gelb und Grün) von den gefärbten Strukturen zurückgehalten. Wenn man daher den Helligkeitsunterschied zwischen gefärbten Strukturen und freiem Sehfeld möglichst scharf hervorheben will, wird ein Lichtfilter gute Dienste leisten, welcher aus dem von der Lichtquelle

Tabelle 13  
Durchlässigkeit verschiedener Farbgläser der Firma O. SCHOTT & GEN., Jena  
Schichtdicke 1 mm

Lichtfarbe		Rotfilter F 4512	Kupferrubin F 2745	Gelbglas (dunkel) F 4313	Grünfilter F 4930	Blaufilter F 3873	Kobaltglas, durchlässig für das äußerste Rot F 3654
rot	644	0,90	0,48	0,98	0,18	—	—
gelb	578	0,03	—	0,97	0,45	0,01	0,03
	546	0,02	—	0,96	0,64	0,01	0,04
grün	509	—	—	0,89	0,62	0,16	0,14
	480	—	—	0,70	0,44	0,47	0,44
blau	436	—	—	0,19	0,11	0,74	0,86
violett	405	—	—	0,10	—	0,72	0,97
	366	—	—	—	—	0,43	0,97
ultraviolett	334	—	—	—	—	0,03	0,93
	313	—	—	—	—	0,01	0,64
	302	—	—	—	—	—	0,40
	281	—	—	—	—	—	0,04

Tabelle 14 Einfarbige Lichtfilter für weißes Licht (Nach LANDOLT)

Farbe	Schicht- dicke mm	Farbstoffe (wässrige Lösung)	Konz. %	Spektralbereich des durchgelassenen Lichtes m $\mu$	Optischer Schwächepunkt m $\mu$	FRAUNHOFERsche Linien
rot	20	Kristallviolett 5 BO	0,005	718—639	665,0	C' (656,3)
	20	Kaliummonochromat	10			
gelb	20	Nickelsulfat	30	614—574	591,9	D (589,3)
	15	Kaliummonochromat	10			
grün	15	Kaliumpermanganat	0,025	540—505	533,0	E (527,0)
	20	Kupferchlorid	60			
hell- blau	20	Kaliummonochromat	10	526—458	488,5	F (486,1)
	20	Doppelgrün SF Kupfersulfat	0,02 15			
dunkel- blau	20	Kupfersulfat	15	478—410	448,2	G (430,8)
	20	Kristallviolett 5 BO	0,005			

gespendeten Licht die gelben und gelbgrünen Strahlen durchläßt, die übrigen aber zurückhält. Mit dem Kontrastfilter wird also der Mikrophotograph denjenigen Spektralbereich zur Beleuchtung auswählen, in welchem die gefärbten Stellen des Präparats am stärksten absorbieren. Diese Spektralbereiche stellen im allgemeinen die komplementären Farben zu den Farben der Strukturen dar. So wird man für gelb oder braun gefärbte Präparate blaue oder violette, für rot oder orange gefärbte grüne und für blau oder violett gefärbte gelbe oder gelbgrüne Kontrastfilter wählen (vgl. auch S. 138). Bei Platten, die für Rot ganzlich unempfindlich sind, bleibt es ziemlich gleichgültig — wenigstens was die Kontrastwirkung anbelangt —, ob man mit dem Lichtfilter nur das blaue oder auch das rote Licht zurückhält, d. h. ob man einen rein gelben oder einen gelbgrünen Filter benutzt. Da die rein gelben Lichtfilter mehr Licht durchlassen als die grünen, so wird man meistens diese als Kontrastfilter verwenden. Die Kompensationsfilter sind genau so beschaffen wie die Kontrastfilter; man kann daher einen und denselben Filter bald als Kontrast-, bald als Kompensationsfilter benutzen. Nur die Indikation ist verschieden, je nachdem, ob man den Kontrast zwischen den gefärbten Strukturen und dem Hintergrund steigern oder aber die Unterschiede in der Tönung objektgetreu wiedergeben

will Im letzteren Fall richtet sich die Auswahl der Lichtfilter nach dem Verhältnis, in welchem die Grundfarbenzusammensetzung des benutzten Lichtes, die Sensibilisation der Platte und die Färbung der Präparate zueinander stehen. Ist z. B. das Präparat mit drei Farben, Rot, Gelb und Blau, gefärbt, hat man weiter zur Aufnahme eine orthochromatische Platte mit dem normalen Maximum in Blau und dem Sensibilisationsmaximum in Gelbgrün, und beleuchtet man schließlich mit einer Punktlichtlampe, deren Licht etwa 20% blaues, 50% gelbes und 30% rotes Licht enthält, so muß damit gerechnet werden, daß die Tönung der gelb gefärbten Stellen am besten, die der blau gefärbten weniger gut und die der rot gefärbten Stellen am wenigsten objektgetreu wiedergegeben werden, da die Platte für Gelb ebenso empfindlich ist wie für Blau, dagegen gänzlich unempfindlich für Rot, das benutzte Licht aber weniger rote und noch weniger blaue Strahlen enthält als gelbe. Die Aufgabe des Mikrophotographen wird also darin bestehen, eine gewisse Harmonie durch Farbentfilter so zu erzielen, daß keine der Grundfarben gänzlich ausgeschaltet, nur in ihrer Wirkung abgestuft, d. h. durch die Wirkung der anderen kompensiert wird. Im angeführten Beispiel kann es sich nur um die Kompensierung der gelben Strahlen handeln, da für die objektgetreue Wiedergabe der rot gefärbten Stellen die Mittel, die uns die Lichtfilter bringen, bei den für das Rot unempfindlichen orthochromatischen Platten nicht ausreichen. Allerdings lassen viele rot gefärbte Strukturen auch blaue und violette Strahlen durch, so namentlich die mit Karmalaun, Sauerfuchsin oder Benzopurpurin gefärbten. Nach solchen Färbungen wird auch das Teilbild rot gefärbter Stellen starker zur Geltung kommen, wenn die Wirkung der blauen und violetten Strahlen durch entsprechende Lichtfilter gefordert wird. Handelt es sich jedoch um rote Färbungen, welche fast reines Spektralrot durchlassen (Neutralrot, Erythrosin, Azokarmin, Boraxkarmin, Thiazinrot usw.), so muß man, um die richtigen Tonunterschiede im photographischen Bild zu erzielen, rotempfindliche Platten benutzen (s. S. 132). Anders liegen die Dinge wiederum, wenn die rot gefärbten Stellen neben Rot auch gelbes Licht durchlassen, wie z. B. nach Färbungen mit Eosin, Sudan-, Scharlachrot usw. Hier wird die Kompensierung des gelben Spektralbereichs mit blauen oder violetten Filtern in erster Reihe an der photographischen Wiedergabe der rot gefärbten Stellen bemerkbar sein, da diese viel dunkler erscheinen werden als ohne diese Lichtfilter. Angenommen, daß im gewählten Beispiel die rote Färbung von irgendeinem der Farbstoffe herührt, welche auch blaue und violette Strahlen durchlassen, so wird ein gelbgrüner — oder wenn dieser noch verhältnismäßig zu viel gelbes Licht durchläßt — ein blauer Filter als Kompensationsfilter am Platz sein. Umgekehrt wird man einen gelbgrünen oder gelben Filter als Kompensationsfilter wählen, wenn man bei derselben Färbung und derselben orthochromatischen Platte eine Kohlenbogenlampe zur Aufnahme benutzt, deren Licht 40% blaue und nur 20% gelbe Strahlen enthält. Würde man ohne Kompensationsfilter arbeiten, so würde in der photographischen Aufnahme das blaue Einzelbild vorherrschen und eine falsche Abtönung des Bildes hervorrufen. Noch ausgeprägter treten natürlich solche Verschiebungen in der Gradation des Gesamtbildes auf, wenn bei der benutzten Plattensorte die Maxima der Empfindlichkeit für Gelb und Blau verschieden sind.

Wie aus dem angeführten Beispiel ersichtlich, kann die Auswahl und Anwendung der Kompensationsfilter manche Schwierigkeiten bereiten, da man mit einer großen Anzahl von Faktoren rechnen muß als bei den Kontrastfiltern. Solange man aber orthochromatische Platten benutzt und dabei auf die objektgetreue Wiedergabe in der Abtönung rot gefärbter Stellen zwangsläufig mehr oder weniger verzichten muß, wird sich die Frage praktisch nur

darum drehen, ob man mehr das gelbe oder mehr das blaue Licht durch entsprechende blaue oder gelbe Filter abschwächen bzw. verstärken soll. Ist die Grundfarbenzusammensetzung der Lichtquelle bekannt und ebenso die Lage der Empfindlichkeitsmaxima auf der photographischen Platte, so wird man bald die nötigen Kompensationsfilter empirisch ermitteln können. Die Auswahl solcher Lichtfilter wird noch dadurch erleichtert, daß die meisten mikroskopischen Laboratorien an einigen wenigen erprobten Farbungsmethoden festhalten, und bei den mikrophotographischen Aufnahmen immer wieder dieselben Farbungen vorkommen. Selbst bei solcher Vereinfachung des Verfahrens erfordert die richtige Auswahl der Wellenbereiche viel Erfahrung. Da nicht nur die Farbe, sondern auch die Menge des durch den Filter auf die Platte gelangten Lichtes ausschlaggebend ist, muß außer der Farbe des Filters auch seine Dichte und Konzentration, kurz seine Durchlässigkeit für die verschiedenen Wellenbereiche genau berücksichtigt werden. Ein flüssiger gelber Filter von einer bestimmten Konzentration (z. B. Kaliummonochromat 5/1000) wird bei 5 cm Schichtdicke etwas blaues Licht noch durchlassen, während er bei 10 cm Schichtdicke so gut wie kein blaues Licht durchläßt, ebensowenig ein anderer Kaliummonochromatfilter von der Konzentration 80/1000 bei 5 cm Schichtdicke. Braucht man also die Wirkung der blauen Strahlen nur abzuschwächen, aber nicht vollkommen aufzuheben, so kann man die gelben Filterfarben in geringerer Konzentration oder aber die Filterlösung mit einer geringeren Schichtdicke vorschalten. Ist aber die Wirkung der blauen Strahlen unerwünscht stark abgeschwächt, so muß man wiederum Lichtfilter wählen, die sowohl gelbe wie blaue Strahlen durchlassen wie die grünen Filter nach ZETINOW, wo eine wäßrige Kupfervitriol-Lösung das blaue, eine wäßrige Lösung von doppeltchromsaurem Kali das gelbe Filter liefert. Je nachdem, ob man die gelbe oder die blaue Komponente solcher grünen Filter durch Erhöhung der Konzentration oder der Schichtdicke verstärkt, erhält man mehr gelbe oder mehr blaue Strahlen.

Die Konzentration des Filterfarbstoffs und die Dicke der als Filter wirkenden Schicht werden verständlicherweise auch die Belichtungszeit entscheidend beeinflussen. Jedes Medium von größerer Dichte als Luft, das man zwischen Objekt und Lichtquelle in den Weg der Lichtstrahlen schaltet, sei es auch durchsichtiges Glas oder Flüssigkeit, absorbiert einen bestimmten Teil des Lichtes, und zwar um so mehr, je größer seine Schichtdicke ist. Bei vollkommen durchsichtigen Medien, wie reinem Glas oder Wasser, wird der Verlust durch Absorption im Verhältnis zum durchgelassenen Lichtstrom so gering sein, daß er praktisch keine Bedeutung hat. Enthalten jedoch die Medien Stoffe, welche durch eine starke Absorptionsfähigkeit für bestimmte Wellenbereiche (Filterfarbstoffe) oder für das gesamte Spektrum des weißen Lichtes (Tusche und Pigmentgemische) ausgezeichnet sind, so werden sie schon einen merklichen Teil des einfallenden Lichtstroms zurückhalten, und zwar um so mehr, je reicher sie an solchen Stoffen sind. Die Menge der in einem Lichtfilter vorhandenen lichtabsorbierenden Stoffe ist durch die prozentuale Konzentration in den Lösungsmitteln (bzw. Dispersionsmitteln) und durch die Schichtdicke bestimmt. Es ist klar, daß bei derselben Schichtdicke eine 10proz. Lösung mehr absorbierende Stoffe enthalten wird als eine 5proz. und bei derselben Konzentration eine Schichtdicke von 10 cm mehr als eine solche von 5 cm. Um den Einfluß der Lichtfilter auf die Belichtungszeit beurteilen zu können, müssen wir mit einigen an anderen Stellen dieses Handbuches (Bd VIII) schon ausführlicher besprochenen Eigenschaften der Lichtfilter im klaren sein, und zwar mit der Farbstoffdichte und mit der Farbentransparenz.

VON HUBL bezeichnet mit Farbstoffdichte die Menge des Farbstoffes in Gramm, welche in einem Quadratmeter Filterfläche enthalten ist (vgl. dieses Handbuch VIII, S. 78). Die Farbstoffdichte gibt uns also ein Maß für die Intensität der Färbung des Filters oder, mit anderen Worten, den Grad der Absorption des Lichtfilters für einen bestimmten Spektralbereich. Es ist zu beachten, daß der Begriff der Farbstoffdichte nicht gleichbedeutend mit der Konzentration des Farbstoffes ist, obwohl beide Begriffe den Gehalt des Filters an absorbierenden Stoffen angeben. Der Unterschied besteht darin, daß die Farbstoffdichte die Menge des Farbstoffes nicht zum Volumen des Lösungsmittels, sondern zur Flächeneinheit angibt, die ein bestimmtes Volumen der Lösung bedeckt. Ist z. B. die Farbstoffdichte für Patentblau = 0,4, so bedeutet das so viel, daß 1 qm Fläche der Gelatineschicht 0,4 g Farbstoff enthält. Da erfahrungsgemäß zum Ubergießen von 1 qdm Glasfläche etwa 7 ccm Gelatinelösung (6 %) benötigt werden, entspricht die Farbstoffdichte 0,4 einer 0,057proz. Farblösung. Zur Herstellung von Filterfolien ist der Begriff der Farbstoffdichte besonders wichtig, da man dadurch nicht bloß den Gesamtgehalt der Filterlösung an absorbierenden Stoffen, sondern gleich einen exakten Maßstab erhält für die Verteilung dieser Stoffe in dem optischen Querschnitt, den der Lichtstrom durchdringen muß. Bei flüssigen Lichtfiltern ist der Begriff der Farbstoffdichte ebenfalls unentbehrlich, wenn man die Farbenintensität fester und flüssiger Lichtfilter miteinander vergleichen will. VON HUBL definiert die Farbstoffdichte bei flüssigen Lichtfiltern mit dem Farbstoffgehalt von 10 l Flüssigkeit, die notwendig ist, damit 1 qm Fläche mit einer 1 cm hohen Schicht bedeckt wird.

Es sei beachtet, daß man ein trockenes Farbfilter nicht ohne weiteres durch eine Filterlösung von derselben Farbstoffdichte ersetzen kann, denn die Wirkung der flüssigen Lichtfilter ist auch von der Weite des Behalters abhängig. Wie V. HUBL festgestellt hat, spielen Schwankungen in der Schichtdicke nur bei stark verdünnten Filterlösungen in dieser Beziehung eine gewisse Rolle, in der Praxis wird jedoch der Einfluß der Schichtdicke auf die Farbstoffdichte nicht bemerkbar sein. Anders verhält sich die Sache bei der Farbtransparenz. Mit dem Begriff der Lichtdurchlässigkeit oder Farbtransparenz bezeichnet man die Eigenschaft der Lichtfilter, daß sie die Intensität des durchfallenden Lichts in geringerem oder höherem Grad herabsetzen. Die Farbtransparenz ist eine stark komplexe physikalische Erscheinung, mit der wir uns hier nicht eingehend beschäftigen können (vgl. dieses Handbuch VIII, S. 79). Es sei jedoch bemerkt, daß es sich bei der Farbtransparenz nicht wie bei der Farbstoffdichte um das Zurückhalten von bestimmten Wellenbereichen handelt, sondern darum, daß die Strahlen, für welche der Filter durchlässig ist, beim Durchgang durch den Filter von ihrer Lichtintensität einbüßen. Blaue Strahlen im blauen oder gelbe Strahlen im gelben Filter verlieren stets etwas von ihrer Lichtstärke und wirken schwächer auf die Schicht der photographischen Platte, als sie einwirken würden, wenn sie ohne Lichtfilter unmittelbar auf die Platte einfallen würden. Es ist leicht verständlich, daß die Konzentration des Farbstoffes im Filter wie auch die Länge des Weges, den die Strahlen in der Filterschicht zurückzulegen haben, auf die Farbtransparenz einwirken werden. Die Größe der Transparenz wird nach dem Verhältnis bestimmt, in welchem die Intensität des durchgelassenen Lichts ( $i$ ) zur Lichtintensität ( $I$ )

der Strahlen steht, die unmittelbar auf die Platte einwirken. Die Bruchzahl  $\frac{i}{I}$  gibt uns dann das Maß der Transparenz an, die bei den Filtern, mit denen man die Grundfarben zu isolieren pflegt, verschieden ist. Im allgemeinen ist sie bei gleicher Schichtdicke am größten bei den gelben Filtern (0,90), bei den grünen Filtern am kleinsten (0,20), die Blaufilter sind etwas durchlässiger als die Grünfilter (0,25), während die Rotfilter eine Transparenz zeigen, die etwa zwischen den gelben und den blauen Filtern steht (0,50).

Wie schon früher erwähnt, hat die Farbstoffdichte, d. h. die Intensität der Färbung des Filters, auf die Farbtransparenz keinen Einfluß, wohl aber die chemische und physikalisch-chemische Natur der zum Filter verarbeiteten Farbstoffe. Von zwei Farbstoffen, welche dieselben Spektralbereiche absorbieren, wird zur Herstellung von Lichtfiltern stets derjenige sich besser eignen, welcher im Lösungsmittel feiner verteilt ist. Hochmolekulare oder kolloidale Stoffe eignen sich in dieser Hinsicht zur Herstellung von Lichtfiltern weniger, da sie die Transparenz herabsetzen. Darin liegt auch der Grund, warum Blaufilter aus Kupfervitriol (namentlich wenn das Kupfersalz statt in destilliertem



Wasser in 10proz. Alkohol gelöst ist) eine bessere Transparenz zeigen als solche aus hochmolekularen Teerfarbstoffen, wie z. B. Methylenblau oder Anilinblau. Die Schichtdicke spielt bei der Transparenz fester Lichtfilter aus Glas oder Gelatinefolien insofern keine Rolle, weil die Filter an und für sich dünn sind und eine konstante Dicke haben. Bei flüssigen Lichtfiltern jedoch, die man in Kuvetten von verschiedener Weite, öfters auch in mehreren Kuvetten hintereinander, aufzustellen pflegt, wird dieser Faktor die Farbtransparenz und dadurch auch die Belichtungszeit wesentlich beeinflussen. Stellt man also die zwei Komponenten des ZETTNOWschen Grünfilters gesondert auf in zwei Kuvetten von je 5 cm Weite, so wird die Farbtransparenz geringer sein als in dem Fall, wenn sie zusammengemischt in ein und derselben Kuvette von 5 cm Weite untergebracht sind. Die Belichtung erfordert dementsprechend im ersten Fall eine längere Zeit als im zweiten. Aus diesen Erwägungen allgemeiner Natur ergibt sich für den Mikrophographen die Notwendigkeit, jedesmal wenn Lichtfilter benutzt werden, den Einfluß des benutzten Lichtfilters durch Probebelichtungen zu prüfen.

Die Ausführung solcher Belichtungsproben erfolgt in der schon bekannten Weise (s. S. 95). Am besten orientiert man sich erst in den dafür geeigneten Tabellen (s. Tabellen 13 und 14) über die Durchlässigkeit verschiedener Lichtfilter und wählt danach die in Betracht kommenden Lichtfilter aus. Will man zu einer Aufnahme auf einer für die Wellenbereiche 578–405 m $\mu$  sensibilisierten orthochromatischen Platte ein Kompensationfilter wählen, das die Wirkung der im Licht der Kohlenbogenlampe reichlich vorhandenen kurzwelligen Strahlen kompensieren soll, so wird man z. B. das Gelbglass oder das Grünfilter der Firma SCHOTT, Jena, wählen. Wünscht man ein flüssiges Lichtfilter, so kann man nach der Tabelle 14 das Gelbfilter aus Nickelsulfat, Kaliummonochromat oder Kaliumpermanganat oder das Grünfilter aus Kupferchlorid und Kaliummonochromat wählen. Nun hat man zwei, in anderen Fällen sogar noch mehr Glas- oder Flüssigkeitsfilter, die für die Aufnahme in Betracht kommen. Die Entscheidung erhält man aus der Belichtungsprobe, die man erst mit dem einen, dann mit dem anderen Lichtfilter vornimmt.

Hat man keine entsprechenden tabellarischen Zusammenstellungen bei der Hand, so kann man die gewünschten Aufschlüsse aus spektrographischen Aufnahmen erhalten. Eine einfache spektroskopische Prüfung der Filter mit dem gewöhnlichen Taschenspektroskop gewährt in vielen Fällen schon eine allgemeine Orientierung. Viel zweckmäßiger ist jedoch dafür die mikrophotographische Aufnahme mit dem auf S. 128 geschilderten vereinfachten Spektralkondensor nach A. KOHLER, denn so erhält man nicht nur über die Farbtransparenz des Filters, sondern gleichzeitig auch über die Wirkung der durchgelassenen Wellenbereiche auf die benutzten Plattensorten genaue Auskunft.

Sehr einfach und bequem gestaltet sich die Arbeit mit den Lichtfiltern, wenn man nur zwei Filterlösungen verwendet, eine für gelbe und die andere für blaue Filter. Am besten eignen sich dafür die Lösungen aus Kalumbichromat und Kupfersulfat, mit denen man die für mikrophotographische Aufnahmen sehr geeigneten ZETTNOWschen Lichtfilter zusammenstellt. Sowohl mit dem doppelchromsauren Kalisalz wie mit dem Kupfervitriol bereitet man nach der Angabe von A. KOHLER (8, S. 1767) eine Konzentrationsreihe vor, indem man Kupfervitriollösungen mit den Konzentrationen 200/1000, 100/1000, 50/1000, 20/1000 und 5/1000, Kalumbichromatlösungen aber in den Konzentrationen 80/1000, 20/1000 und 5/1000 bereit stellt. Verwendet man so die zwei Lösungen in Kuvetten von je 5 cm Weite, so kann man sehr enge Spektralbereiche isolieren, wobei die Änderung in der Konzentration der Kupfervitriollösung

die Grenze der Farbdurchlässigkeit gegen Rot, die Konzentrationsänderung der Kalumbichromatlosung aber gegen Blau verschoben wird. Nun kann man die zwei Filterlosungen gesondert als gelben oder als blauen Filter und kombiniert miteinander als grünen Filter benutzen, wobei jede Kombination der verschiedenen Konzentrationen neue fein abgestufte Wirkungen des Lichtfilters ergeben wird. Hat man einmal für sämtliche Kombinationen, d. h. für die 5 Konzentrationen des blauen, für die 3 Konzentrationen des gelben Filters und für die 15 Kombinationen der 2 Lösungen miteinander die 23 Belichtungsproben ausgeführt (als Testobjekt wähle man kein Objektmikrometer, sondern ein rot-gelb-blau gefärbtes Hamatoxylin-van-Gieson- oder Azokarmin-Mallory-Präparat), so hat man die Eigenschaften der Lichtfilter, mit denen man bei den meisten mikrophotographischen Arbeiten gut auskommen wird, ein für allemal ermittelt. Als Kompensationsfilter wird die Kombination der zwei Lösungen miteinander (und zwar je nach Bedarf eine konzentriertere Kalumbichromatlosung mit einer weniger konzentrierten Kupfervitriollosung oder umgekehrt) für die richtige Wiedergabe der Tonungswerte in Gelb, Gelbgrün, Blau und Violett sich vorzüglich eignen. Als Kontrastfilter kann man wiederum die zwei Lösungen einzeln, und zwar in ihrer stärksten Konzentration verwenden, also 10- oder 20proz. Kupfervitriollosung als Kontrastfilter für rot, orange oder braun gefärbte und 8- oder 2proz. Kalumbichromatlosung für blau gefärbte Präparate. Für den letzteren Zweck leistet oft eine 1- oder 0,1proz. Kaliummonochromatlosung ebenfalls gute Dienste, da sie eine größere Transparenz hat als die Kalumbichromatlosung. Der größeren Transparenz halber empfiehlt es sich auch in den Fällen, wo man das ZETTNOWsche Lichtfilter als Kompensationsfilter verwendet, die Kalumbichromat- und Kupfervitriollosung in eine Kuvette zusammenzugießen<sup>1</sup> und sie nicht in zwei Kuvetten hintereinander aufzustellen.

Die geschilderten Eigenschaften des ZETTNOWschen Filters führen uns zur Frage, wann man in der Mikrophotographie den festen und wann man den flüssigen Lichtfiltern den Vorzug geben soll. Bekanntlich werden die Lichtfilter als Glasfilter, Gelatinefilter (Filterfolie) und als flüssige Filter benutzt. Die zwei ersten Arten sind im Handel fertig zu haben, die flüssigen Lichtfilter bereitet man selbst und hält sie vorrätig. Auch die Filterfolien aus gefärbter Gelatine kann man selbst herstellen. Wie jedoch E. J. WALL in Bd. VIII dieses Handbuches ausdrücklich betont, ist es ratsamer, wenn der Mikrophotograph, der sich nicht ganz einer solchen Arbeit widmen kann und auch nicht über die nötigen Einrichtungen zum Trocknen der Filter verfügt, die gut bewahren Handelssorten fertig kauft.

Für diejenigen, welche selbsthergezeugte feste Lichtfilter den künftigen doch vorziehen, sei das Verfahren empfohlen, das P. MELTZNER (I, S. 155) in Anlehnung an E. G. PRINGSHEIM (I) beschreibt. Es werden bei diesem Verfahren unbelichtete photographische Platten benutzt, die man aushärtet, gründlich wäscht und dann mit gefilterten, nicht zu stark verdünnten Lösungen von Anilinfarbstoffen färbt. Als Farbstoff eignen sich Saffranin, Bismarckblau, Tropaeolin, Naphtholgrün, Malachitgrün, Berlinerblau (in der Schicht erzeugt) und Gentianaviolett. Ebenso können photographische Filme zu Filterfolien verarbeitet werden. Die getübte und getrocknete Schicht schützt man gegen Schädigungen entweder mit einer Deckplatte oder so, daß man zwei gefärbte Platten mit den Schichtseiten zusammenlegt und wie Diapositive umrandet (vgl. a. R. SCHAFER [II]).

Am meisten bekannt und geschätzt sind unter den festen Lichtfiltern die Filterfolien, wie sie von verschiedenen Firmen (EASTMAN KODAK Co., C. K. K. MEES, Lita-Filterfabrik, Agfa) hergestellt und als Wrattenfilter oder

<sup>1</sup> Eine bewährte Vorschrift für das ZETTNOWsche Filter ist auch: 115 g Kupfersulfat, 11,5 g Kalumbichromat und 3 ccm konzentrierte Schwefelsäure auf 1 l destilliertes Wasser (Filterieren).

Lifafilter in den Handel gebracht werden. Die auf dem Kontinent sehr verbreiteten Lifafilter zeichnen sich sowohl durch die exakte Definition ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften (Farbstoffdichte, Absorptionsbereich, Farbtransparenz) wie auch durch ihre große Mannigfaltigkeit aus, was für die Auswahl der Filterkombination sehr vorteilhaft ist.

Die Lichtfilter aus gefarbttem Glas eignen sich nach dem Urteil von v. HUBL (Bd VIII, S. 78) nicht so gut zur Isolierung bestimmter Spektralbezirke, weil Glasmassen von bestimmten spektralen Eigentümlichkeiten technisch schwer herstellbar sind. Bei mikrophotographischen Aufnahmen bemerkt man jedoch keinen Unterschied, wenn man statt der Lifa- oder Agfa-Filter die Farben- gläser von SCHOTT & GEN. benutzt.

Die flüssigen Lichtfilter stellen Lösungen von farbigen Salzen oder Farbstoffen in bestimmten Konzentrationen dar, wie wir sie am Beispiel des ZETTNOWSchen Lichtfilters schon kennengelernt haben. Die Auswahl der Farbstoffe für die drei Grundfarben ist ebenso groß wie die Anzahl der Vorschriften zur Herstellung solcher Lösungen. Einige bewährte Vorschriften für einfarbige flüssige Lichtfilter sind schon in der Tabelle enthalten, zwei andere Beispiele haben wir bei den Lösungen kennengelernt, aus denen der ZETTNOWSche Lichtfilter zusammengesetzt ist. Gute Gelbfilter können auch aus Pikrinsäurelösungen (0,2%) hergestellt werden, aus denen man durch Beimischen von Kupfervitriol dann grüne Filter erzeugt (vgl. H. PETERSEN [2]). Eine bekannte Vorschrift für solche Grünfilter ist:

Destilliertes Wasser	300 ccm
Kupfervitriol	10 g
Pikrinsäure	0,6 g

Als Blaufilter wird sehr häufig, namentlich bei gewöhnlichen photographischen Platten, das Kupferoxydammoniakfilter benutzt:

Destilliertes Wasser	270 ccm
Ammoniak	30 ccm
Kupfervitriol	5 g

Bei der Herstellung soll erst Kupfervitriol gelöst werden, dann die vorgeschriebene Menge Ammoniak nach und nach zugegossen werden, bis der anfänglich entstehende Niederschlag sich vollkommen auflöst.

Ebenso kann man eine ganze Reihe der in der Mikrotechnik bekannten Anilinfarbstoffe zu Filterlösungen verwenden. Es sei jedoch daran erinnert, daß die Transparenz des Filters durch hochmolekulare oder kolloidale Farbstoffe herabgesetzt wird, weshalb zu grünen oder blauen Filtern, deren Transparenz schon an und für sich gering ist, Anilinfarbstoffe sich weniger eignen als die Lösungen von anorganischen Salzen. Basische Farbstoffe werden zur Fabrikation von Filterfolien selten benutzt, da sie nicht lichtbeständig sind und sich untereinander schlecht mischen. Aus denselben Gründen kann man sie auch zur Herstellung von flüssigen Lichtfiltern, die man längere Zeit vorratig halten muß, nicht empfehlen.

Benutzt man Anilinfarben zur Herstellung von flüssigen Filtern, so ist es vorteilhaft, dieselben Farbstoffe zu wählen, aus denen die Lifa-Filter hergestellt werden. So eignen sich zu Gelbfilterlösungen Filtergelb und Tetrazin (1–2%), für Blaufilter Patentblau (0,5–1%), für Rotfilter Sauerhodamin oder Bengalrosa (1–2%) mit Tetrazinlösung gemischt (2–3). Auch die früher erwähnten von E. G. PRINGSHEIM (1) empfohlenen Teerfarbstoffe liefern in 0,5–1proz. Lösungen gut brauchbare Lichtfilter.

Die festen Lichtfilter bieten den Vorteil, daß sie nicht vorbereitet zu werden brauchen, und daß sie wenig Raum beanspruchen, da man sie einfach in den

Blendenträger des Beleuchtungsapparates oder in die Fassung der Irisblende einsetzt. Man verschafft sich deshalb am besten kreisrunde Lichtfilterscheiben, welche in die Fassung der Irisblende gut hineinpassen. Ist der Filter groß und quadratisch, so kann man ihn auf die Fassung der Irisblende auflegen oder noch besser auf einem Blendenträger vor dem Spiegel aufstellen. Weitere Vorteile der festen Lichtfilter sind, daß ihre optischen Eigenschaften genau definiert und unveränderlich sind, man hat also mit einem schon geprüften Lichtfilter immer dieselben Verhältnisse, die man aus früheren Aufnahmen schon kennt. Demgegenüber ist die Herstellung, das Filtrieren und die Aufbewahrung der flüssigen Filter umständlicher. Sie erfordern bei ihrer Aufstellung besondere Kuvetten. Ist die Aufnahme beendet, so muß man sie aus den Kuvetten in die Vorratsflasche zurückgießen, die Kuvetten reinigen usw. Sie haben jedoch einen großen Vorteil, nämlich ihre große Anpassungsfähigkeit an die mannigfaltigen Forderungen der mikrophotographischen Arbeit. Die fein abgestuften Wirkungen, die man schon durch die Kombination von den zwei Grundlösungen des ZETTNOWschen Filters erreichen kann, lassen sich mit festen Filtern nur bei einer größeren Reihe erzielen, und je mehr solche Filterscheiben man sich verschafft hat, um so schwieriger wird die Orientierung, welche Kombination die besten Aussichten für den gegebenen Fall bietet. In den meisten Fällen wird die Lichtfilterfrage zufriedenstellend gelöst, wenn man ein festes gelbes und ein blaues Filter (z. B. als Gelbfilter das Lifa-Filter N<sub>1</sub> 214 oder das mittlere Gelbfilter N<sub>1</sub> 3 der Agfa und als Blaufilter das Kobaltglas der Firma SCHOTT & GEN.) anschafft und dazu noch zwei flüssige Filter, einen gelben und einen blauen, vorrätig hält. Dort, wo man lediglich Kontrastfilter braucht, wird man von den festen Filtern mehr Vorteil haben, da ihre Handhabung einfacher ist, wogegen die flüssigen Filter sich für die Zusammenstellung von Kompensationsfiltern besser eignen.

**60. Die Verwendung des rein monochromatischen Lichtes.** Mit den Farbenfiltern wird man nur selten rein monochromatisches Licht, d. h. Lichtstrahlen einer einzigen Wellenlänge erhalten. Die isolierten Teile des Spektrums werden verschieden breit sein, denn die „Öffnung“ der Filter ist verschieden und ihr Absorptionsvermögen nur ausnahmsweise auf ein einziges Wellenbereich begrenzt. Ganz enge Spektralbereiche (z. B. zwischen 515 und 535 m $\mu$ ) lassen sich nur unter besonders günstigen Verhältnissen isolieren (vgl. dieses Handbuch III, S. 21 u. VIII, S. 79, F. WEIGERT u. H. STAUDE [1] und ELVEGARD, STAUDE und WEIGERT [1]).

Soweit es sich um die Steigerung der graphischen Kontraste oder um die richtige Abtonung der Helligkeitsunterschiede handelt, genügen für mikrophotographische Zwecke die Farbenfilter im allgemeinen vollkommen. Bei einer Reihe von mikroskopischen Untersuchungen, so z. B. bei manchen polarisationsmikroskopischen und kristalloptischen Arbeiten vor allem aber zu Aufnahmen in Fluoreszenz- und ultravioletttem Licht ist jedoch die Beleuchtung mit einem streng definierten schmalen Bezirk des Spektrums unentbehrlich. Man ist dann auf spektrales monochromatisches Licht angewiesen, das man entweder aus den Bandenspektren einer Quarzlampe oder Quecksilberbogenlampe (s. Bd. III, S. 13, und Band IV, S. 30) mit entsprechenden Filtern isolieren oder aber durch einen Monochromator ohne Filter erzeugen kann.

Der Monochromator<sup>1</sup> ist einem Spektralapparat ähnlich gebaut, nur besteht er aus mehreren Linsen und Prismen. Er wird zwischen dem Mikroskopspiegel und

<sup>1</sup> Monochromatoren zu mikroskopischen Untersuchungen erhält man z. B. in passender Ausführung von den optischen Werkstätten FUSS, Berlin-Litz, Wetzlar, WINKEL, Göttingen.

der Lichtquelle (Hand-Regulier-Bogenlampe) aufgestellt (Abb 59). Die Lichtstrahlen werden durch ein rechtwinkliges Prisma auf einen engen Spalt im vertikalen Rohr (Kollimator) des Apparats gelenkt und fallen durch diesen auf die erste Linse, welche die Strahlen parallel richtet und auf das Monochromatorprisma wirft. Dieses zerstreut das weiße Licht zu einem Spektrum, das von einer Linse in einem zweiten Spalt abgebildet wird. Schließlich entwirft eine dritte Linse (Beleuchtungslinse), die in der optischen Achse des Monochromators verstellbar ist, das spaltförmige Spektrumbild auf den Spiegel. Durch Regelung der Spaltbreite und durch Drehung des Prismas kann man bestimmte Spektrumbezüge in den Spalt einstellen und mit gut abgegrenzten Spektralfarben beleuchten.

Wann und zu welchem Zweck wird in der Mikrophotographie monochromatisches Licht benutzt? Von den schon erwähnten Fällen abgesehen, kommt eine Beleuchtung mit einzelnen isolierten Wellenbereichen dann in Frage, wenn man die Kontrastwirkung zwischen Struktur und Hintergrund scharfer hervorheben oder aber das Auflösungsvermögen des Mikroskops steigern will. Es

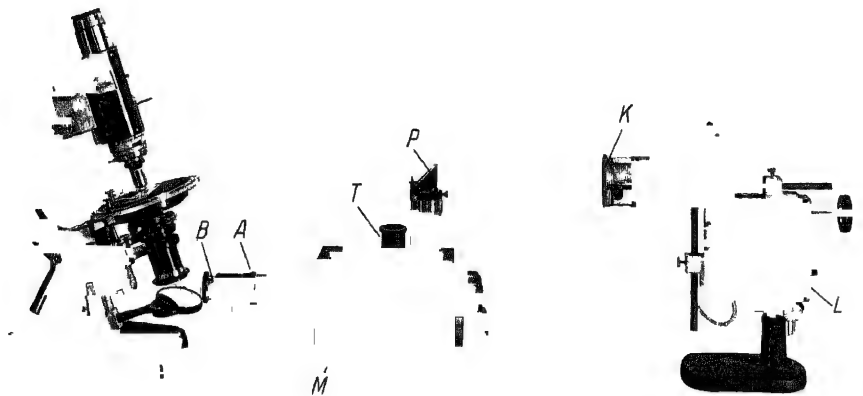


Abb 59

p = rechtwinkliges Prisma, K = Kollektor, M = Gehäuse für das Monochromatorprisma, T = weißes  
rechtes Rohr mit Abbildungslinse B, L = Lampe (Aus FEUSS Druckschrift Mikr. 3)

ist bekannt (s. S. 19), daß die Stärke der Auflösung zu der Wellenlänge der beleuchteten Lichtstrahlen im umgekehrten Verhältnis steht. An ungefarbten Objekten mit feinen periodischen Strukturen (*Pleurosigma angulatum*, *Amphipleura pellucida*, Schmetterlingsschuppen usw.) läßt sich dieser Zusammenhang zwischen der Wellenlänge der Beleuchtungsstrahlen und der Auflösung im mikrophotographischen Bild besonders eindrucksvoll nachweisen. Verfertigt man hintereinander drei mikrophotographische Aufnahmen des *Pleurosigma angulatum* mit einem Objektiv von sehr starker Apertur (Ap. 1,3) derart, daß man zur Belichtung der ersten Aufnahme nur rotes, zu zweiten nur grünes und zur dritten nur blaues Licht verwendet (orthochromatische Platten!), so wird man in der ersten Aufnahme nur die grobere Struktur der Diatomeenschale, in der zweiten schon einen Teil der feineren Linien in der dritten aber, bei blauem Licht, die ganze feine Struktur erhalten so weit aufgelöst, wie sie mit unseren mikroskopischen Mitteln überhaupt auflösbar ist. Ist man also vor die Aufgabe gestellt, Strukturen an der Grenze der mikroskopischen Sichtbarkeit abzubilden, so wird man die Wellenlänge der Strahlen, mit denen man beleuchtet, genauer berücksichtigen müssen. Man sollte meinen, daß diese Forderung schon bei der Einstellung des mikroskopischen Bildes erfüllt werden

muß, da natürlicherweise die mikroskopische Auflösung der Struktur auch für die subjektive Beobachtung um so günstiger ist, je mehr kurzwellige Strahlen daran beteiligt sind. Für die subjektive Beobachtung bedeutet es jedoch keinen wesentlichen Vorteil, wenn man das Bild im monochromatischen blauen Licht betrachtet, denn das so stark aufgelöste blaue Einzelbild wird bei der geringeren Empfindlichkeit des Auges für das blaue Licht nicht deutlicher wahrgenommen als das gelbe Einzelbild. Die günstige Wirkung der kurzwelligen Strahlen auf die Auflösung gelangt also in der Hauptsache nur bei der mikrophotographischen Aufnahme zu voller Geltung (s. S. 129). Besondere Vorteile bringt die Beleuchtung mit kurzwelligem monochromatischem Licht bei Aufnahmen ungefarbter Objekte (s. S. 324). Beleuchtet man mit einer an kurzwelligen Strahlen reichen Kohlenbogenlampe durch ein Kobaltglasfilter und eine 2proz. Kupfeivitriollösung, so wird man im Lichtbild die feinen Granulationen der weißen Blutzellen, die Mitochondrien der Fibroblasten oder die Querstreifung der Muskelfasern in ungefarbtem Zustande deutlicher sehen als im Mikroskop bei subjektiver Beobachtung (s. Abb. 200). Bei den so in kurzwelligem monochromatischem Licht erfolgten Aufnahmen wird dann auch die Grenze der erforderlichen Vergrößerung um so höher liegen, je kürzer die Wellenlänge der zur Beleuchtung verwendeten monochromatischen Strahlen und der Strahlen des Lichtes ist. Beleuchtet man etwa mit kurzwelligen Strahlen der *FRAUNHOFER*schen Linie *G* ( $\lambda = 431 \text{ m}\mu$ ), so läßt sich die erforderliche Vergrößerung rund auf das  $1\frac{1}{2}$ -fache steigern im Vergleich zu einer Beleuchtung mit dem zusammengesetzten weißen Licht ( $\lambda = \text{im Mittel } 589 \text{ m}\mu$ ). Ist z. B. die Apertur des Beobachtungsobjektivs  $= 1,3$ , so wird die obere Grenze der erforderlichen Vergrößerung bei einer Beleuchtung mit weißem Licht 1300fach sein. Isoliert man aber aus dem Lichtstrom nur das Spektrumbereich der *FRAUNHOFER*schen Linie *G*, so kann man die Vergrößerung bis auf 1950fach oder rund 2000fach steigern. Auch bei Aufnahmen von gefärbten Präparaten wird man deshalb von einer Beleuchtung mit kurzwelligem monochromatischem Licht wesentliche Vorteile haben, so z. B. bei der Abbildung von Kernteilungsfiguren, wo auf diese Art feinste Einzelheiten, wie die Spindelfasern, die Trennungslinien zwischen den Chromosomenpaaren usw., in einem stark vergrößerten Bild deutlicher sichtbar werden. Ähnlich verhält es sich bei der Darstellung sämtlicher feinen Fibrillenstrukturen und auch sonst überall, wo man bei einer sehr starken Bildvergrößerung die sog. leere Vergrößerung vermeiden will. Unter den gefärbten Präparaten eignen sich allerdings zu solchen Aufnahmen nur die schwarz oder dunkelblau gefärbten. Doch von den mit Safraninrot gefärbten Kernstrukturen erhält man gute Lichtbilder, wenn man bei der Aufnahme kurzwelliges monochromatisches Licht (Blaufilter) verwendet.

Außer bei Aufnahmen mit den stärksten Objektiven hat die Wirkung des kurzwelligen monochromatischen Lichtes auf die Auflösung keine praktische Bedeutung. Benutzt man also bei Aufnahmen mit schwachen und mittelstarken Objektiven (etwa bis zur Ap. 0,95) blaue Filter, so geschieht das, um die Kontraste zu heben oder das Bild richtig abzutönen, nicht aber um die Auflösung zu steigern.

**61 Die photographische Wiedergabe des mikroskopischen Bildes in natürlichen Farben.** Farbenphotographien sind in der Mikrophotographie vornehmlich zum Zweck einer farbigen Abbildung des Objekts in wissenschaftlichen Zeitschriften oder zu Vortragungszwecken erforderlich. Dafür eignen sich am besten die Aufnahmen auf den sog. Farbmastern (z. B. den Agfa-Farbenplatten, Lummi-Autochromplatten, Duplexplatten, Lignosc-Farbfilm usw.), deren Eigenschaften im Bd. VII dieses Handbuches (S. 188) E. J. WARR

eingehender schildert. An dieser Stelle genügt es, wenn darauf hingewiesen wird, daß für die Zwecke, die man im allgemeinen in der mikroskopischen Forschung mit einer farbigen Abbildung verfolgt, die Herstellung eines Positivbildes auf Papier das Verfahren unnötigerweise erschwert und deshalb auch überflüssig ist. Bei der drucktechnischen Wiedergabe der Farbaufnahmen werden die Teilbilder am besten in der graphischen Anstalt durch entsprechende Filter isoliert und für den Zwei- oder Dreifarbendruck zu den notwendigen Druckstöcken (Klischees) verarbeitet<sup>1</sup>. Soll also ein farbiges oder gefarbttes Objekt mit seinen charakteristischen Farben naturgetreu im Druck wiedergegeben werden, so schickt man am besten ein Glasbild, d. h. eine Aufnahme auf einer Farbenplatte, zur Reproduktion<sup>2</sup>. Eine solche Aufnahme läßt sich dann ohne weiteres auch als Glasbild zum Bildwurf verwenden. So sparsam man mit den Farbaufnahmen bei der Zusammenstellung des Abbildungsmaterials wirtschaften soll, so ausgiebig kann man von der Farbenphotographie bei der Herstellung der Diapositive Gebrauch machen. Die guten Farbaufnahmen sind nämlich zur Vorführung gefarbter mikroskopischer Präparate mindestens so geeignet wie die Präparate selbst, ihr Bildwurf bereitet aber wesentlich geringere Schwierigkeiten als der eines mikroskopischen Präparats.

Soll die Farbenphotographie in einem Laboratoriumsbetrieb eingeführt werden, so ist es ratsam, sich auf eine bestimmte Sorte von Farbenplatten einzuarbeiten. Hier soll der Gang der Aufnahmen und die Behandlung der Platte am Beispiel der Agfa-Farbenplatten erörtert werden. Bei anderen Plattenarten werden verständlicherweise gewisse Abweichungen von den für diese Farbenplatten gültigen Vorschriften zu beachten sein, diese sind jedoch nicht erheblich und sind in den Anweisungen, die jeder Packung beigegeben sind, genau angegeben.

Alle Farbenplatten bestehen aus einer lichtempfindlichen Silberschicht, die ein normales schwarz-weißes Bild liefert, ferner aus dem dreifarbigen Farbraster, welcher zwischen der Glasplatte und der lichtempfindlichen Schicht liegt. Die feinen Körnchen des Rasters in den Grundfarben Blau, Grün und Rot, lassen bei der Belichtung nur die Strahlen auf die Silberschicht wirken, deren Wellenlänge der Farbe der Rasterkörnchen entspricht. Ist  $\lambda$  B die eine Stelle des Objekts blau, die andere rot gefärbt, so wird die Silberschicht der blauen Stelle entsprechend nur so weit geschwärzt, als die blauen Rasterkörnchen Strahlen durchlassen, und ebenso die rote Stelle der Wirkung der roten Rasterkörnchen entsprechend. Entwickelt man die belichtete Platte, so entsteht zunächst ein Negativbild, wo die Schwärzung der Silberschicht die Rasterkörnchen verdeckt. In der Durchsicht erhält man deshalb ein Negativ vom Objekt mit den komplementären Farben. Dieses wird nun im Umkehrbad zum Positivbild gestaltet, indem man das Silberbild auflöst und die bei der Aufnahme unbeeinflußt gebliebenen Stellen der Silberschicht zur völligen Schwärzung entwickelt.

Aus den hier kurz geschilderten Eigenschaften der Farbrasterplatten ergibt sich, daß 1. die Belichtung der Platte — im Gegensatz zu sonstigen Aufnahmen — durch die Glasschicht erfolgen muß, 2. die belichtete Platte zunächst wie ein gewöhnliches Negativ entwickelt wird und erst dann das Umkehren und die Schwärzung oder Entwicklung des Positivbildes erfolgt. Man legt also die

<sup>1</sup> Vgl. dieses Handbuch Bd V, S. 467. ferner RUCH (1) und KRÜGER (1).

<sup>2</sup> Auch an dieser Stelle soll vor einem Überfluß an farbigen Abbildungen gewarnt werden. Bei den erheblichen Kosten, die jede einzelne farbige Abbildung verursacht, muß man sich streng nur auf solche Fälle beschränken, wo die Farben für das Objekt oder die in Frage stehende Untersuchung ausschlaggebend sind und deshalb naturgetreu wiedergegeben werden müssen (vgl. PETERSEN [5]).

Platten in die Kassetten mit der Glasschicht der Kameraöffnung zugekehrt und beachtet dabei, daß die dünne lichtempfindliche Schicht mit ihrem schwarzen Karton, wie in der Packung, geschützt bleibt. Die Einstellebene der Platte wird demzufolge anders liegen als bei einer orthochromatischen Platte, und zwar liegt sie um die Dicke der Farbenplatte, d. h.  $1\frac{1}{2}$  mm, höher als sonst bei den schwarz-weißen Aufnahmen. Die scharfe Einstellung kann also nur unter Berücksichtigung dieses Unterschiedes erfolgen, und zwar am einfachsten so, daß man die Mattscheibe mit der matten Seite dem Auge zukehrt. Ist das aus irgendeinem Grund nicht durchführbar, so wird das Mattscheibenbild wie gewöhnlich scharf eingestellt und dann der Kammerauszug um  $1\frac{1}{2}$  mm verkürzt. Besondere Vorkehrungen sind aber in der Mikrophotographie notwendig, wenn man mit Aufsatzkamme(n) (s. S. 166), wo keine Mattscheibe und keine Balgkamera vorhanden sind, sondern bei konstanter Kammerlänge durch eine seitliche Beobachtung das Bild scharf eingestellt wird, Farbaufnahmen vornimmt. Hier benutzt man die Vorsatzlinsen, welche gleichzeitig als Lichtfilter wirken (z. B. die Agfa-Lukor-Filter oder das ZEISS-A-DUKA-Filter für Agfa-Farbenplatten). Mit solchen Vorsatzlinsen kann man in der üblichen Weise wie bei einer schwarz-weißen Aufnahme einstellen. Es sei jedoch bemerkt, daß die erwähnten Vorsatzlinsen normalerweise in ihrer Farbdichte dem Farbenplattenfilter Nr. 20 (Agfa) angepaßt sind, d. h. einem Farbenfilter entsprechen, der sich nur zu Tageslichtaufnahmen eignet. Zu mikrophotographischen Aufnahmen, die fast ausschließlich bei künstlicher Beleuchtung erfolgen, muß man also die Vorsatzlinsen von den Bezugsquellen (z. B. Agfa oder ZEISS) unter Angabe der Beleuchtung (z. B. für die Osram-Punktlichtlampe oder die Kohlenbogenlampe) bestellen.

Die Lichtfilter, welche als Kompensationsfilter in den meisten Fällen zu den Farbaufnahmen erforderlich sind, werden von den Herstellern der Farbenplatten auf die Farbenempfindlichkeit der Platten genau abgestimmt und mit verschiedenen Nummern geliefert. Die Nummern kennzeichnen in der Hauptsache die Farbdichte der Filter für bestimmte Wellenbereiche. Man darf Farbenplatten und Filter von verschiedener Herkunft nicht miteinander verwenden (z. B. LUMIÈRE-Autochromplatten mit Agfa-Farbenfiltern). Es ist ferner bekannt, daß bei der Wahl der Filter auch die Zusammensetzung des Lichtes und der Lichtquelle entscheidend ist (s. S. 132). Diesem Umstand muß man auch in der Farbenphotographie — hier sogar in erhöhtem Maße — Rechnung tragen und die Farbenfilter stets der zur Beleuchtung dienenden Lichtquelle entsprechend aussuchen. Unter den Agfa-Farbenfiltern sind Nr. 20, 21 und 22 nur für Tageslichtaufnahmen bestimmt und kommen deshalb für die Mikrophotographie kaum in Betracht. So wird man in der Mikrophotographie bei Farbaufnahmen hauptsächlich nur zwei Farbenplattenfilter (Agfa) benötigen, und zwar Nr. 30 für Aufnahmen mit der OSRAM-Punktlichtlampe und Nr. 31 für Kohlenbogenlicht. Für letzteres eignet sich auch eine Lösung von Rapid-Filtergelb (Hochst) 1 : 100000 in einer Schicht von 1 cm Dicke. Beleuchtet man aber mit einer Niedervoltlampe, so braucht man zur Farbaufnahme überhaupt kein Filter.

Die Belichtungszeit ist etwas länger als bei einer schwarz-weißen Aufnahme. Bei der hohen Empfindlichkeit der im Handel befindlichen Farbenplatten ist jedoch der Unterschied nicht erheblich. So ist bei den Agfa-Farbenplatten die Belichtungszeit etwa  $\frac{1}{2}$  mal länger als bei einer Agfa-Chromo-Insolaplatte mit vorgeschaltetem Grundfilter (z. B. Agfa-Grundfilter Nr. 41 oder einem dementsprechend konzentrierten ZETTNOWschen Filter).



Zur Entwicklung des Negativs bereitet man sich eine konzentrierte Vorratslösung aus „Metol“ (13 g), Natriumsulfit (100 g wasserfrei oder 200 g kristallisiert) und Bromkalium (5,5 g). Die Salze werden in der angegebenen Reihe bei 30–35°C in 900 ccm Wasser gelöst. Nach Abkühlung auf Zimmertemperatur fügt man noch dazu 30 ccm Ammoniaklösung (von spez. Gew. 0,91) und 100 ccm einer 4proz. Hydrochinonlösung. Die konzentrierte Vorratslösung ist filtriert und gut verschlossen aufzubewahren; zum Gebrauch wird sie mit der dreifachen Menge Wasser verdünnt. Für jede Negativ-Entwicklung muß die verdünnte Lösung frisch bereitet werden. Die einmal schon gebrauchte Lösung wird als Entwickler für die Positiventwicklung noch einmal verwendet<sup>1</sup>.

Zur Negativ-Entwicklung ist Grünlicht erforderlich, da die Farbenplatten für Rot empfindlich sind. Man kann aber auch bei hellem Rotlicht entwickeln, falls man vorher, wie bei panchromatischen Platten, die Platte im Dunkeln mit Pinakryptolgelb desensibilisiert<sup>2</sup>. Bei richtiger Belichtung ist die Entwicklung in 3 Minuten beendet. Belichtungsfehler selbst geringen Grades sind durch entsprechende kürzere oder längere Entwicklung weit schwieriger auszugleichen als bei den schwarz-weißen Aufnahmen, und zwar deshalb, weil hier nicht nur die Helligkeits-, sondern auch die Farbenkontraste von der Belichtungszeit abhängig sind. So wird bei Überbelichtung der blaue, bei Unterbelichtung der rote Farbton im Bild (namentlich im Hintergrund) vorherrschen. Es gibt auch kein härteres oder weiches Bild in dem Sinn wie bei einer schwarz-weißen Aufnahme, sondern nur ein mehr oder ein weniger durchsichtiges Bild. Die überbelichteten Platten sind (nach der Positiv-Entwicklung) zu stark und zu gleichmäßig durchsichtig, die unterbelichteten aber im ganzen mehr oder weniger undurchsichtig, in beiden Fällen erscheint das Farbenbild in Durchsicht undeutlich und flau. Alle diese Eigenschaften des Bildes lassen sich im Negativ-Entwickler nur bei einer längeren Übung und auch dann nur sehr ungenau beurteilen. Während der Negativ-Entwicklung kann man nur die Geschwindigkeit und den Grad der Schwarzung feststellen und daraus auf die Belichtung schließen. Es ist deshalb ratsam, die Entwicklungszeit ein für allemal festzusetzen (z. B. 3 Minuten) und die Belichtungszeit dieser genau anzupassen. Das geschieht am einfachsten mit einer Belichtungsreihe auf einer Farbenplatte.

Nach 3 Minuten wird also die Platte abgespült und in das Umkehrbad gebracht<sup>3</sup>, wo das schwarze Silberbild aufgelöst wird. Als Umkehrbad für die Agfa-Farbenplatten benutzt man eine Lösung von 50 g Kalumbichromat und 100 ccm konzentrierter Schwefelsäure (pro Analyse) in 1 l Wasser gelöst<sup>4</sup>. Diese konzentrierte Vorratslösung ist zum Gebrauch mit der zehnfachen Menge Wasser zu verdünnen. Sowohl das Umkehrbad wie der Negativ-Entwickler sollen möglichst 18°C warm sein, keinesfalls wärmer, da sonst die Schicht beschädigt wird.

Zunächst läßt man die Platte kurze Zeit (1–2 Minuten) im Umkehrbad bei der Dunkelkammerbeleuchtung, dann schaltet man weißes Licht ein und belichtet sie am besten mit einer mattierten Halbwattlampe (75 Watt) aus etwa 1/2 m Entfernung. Hat man in Durchsicht festgestellt, daß das Silberbild ganz verschwunden ist, so wässert man die Platte in fließendem Wasser 15–30 Mi-

<sup>1</sup> Die Substanzen sind in geeigneter Zusammenstellung für die Agfa-Farbenplatten auch fertig im Handel erhältlich, und zwar in drei Größen für 4 × 8 oder 20 Platten 9 × 12. Eine solche Zusammenstellung enthält die Vorratslösung des Negativ-Entwicklers, die Trockensubstanz zum Umkehrbad, Pinakryptolgelb und etwas Dammarlack.

<sup>2</sup> Selbstverständlich erfolgt auch das Einlegen der Platten entweder bei grünem Licht oder im Dunkeln.

<sup>3</sup> Am besten mit Plattenhaltern, weil das Umkehrbad die Haut etwas angreift.

<sup>4</sup> Die Säure soll in das Wasser geschüttet werden, nicht umgekehrt.

nuten lang und bringt sie schließlich in den Positiv-Entwickler (den schon einmal gebrauchten Negativ-Entwickler). Hier werden die Stellen der Schicht, welche erst im Umkehrbad Licht erhalten haben, bei hellem Licht bis zur völligen Schwarzung entwickelt (in etwa 3 Minuten). Die Platte erscheint dann in der Aufsicht gleichmäßig schwarz, während sie in der Durchsicht das Farbenbild zeigt. Damit ist die eigentliche Entwicklung beendet. Man wässert noch kurz (nicht länger als 2 Minuten) in fließendem Wasser und trachtet so rasch als möglich die Schicht zu trocknen. Kleine Handventilatoren mit warmer Luft (Föhn) sind dafür am besten geeignet. Öfter wird es auch vorteilhaft sein, die Platte noch vor dem Trocknen in das saure Fixierbad zu legen, damit die Brillanz der etwas zu stark gedeckten Stellen erhöht wird. Aus demselben Grund pflegt man bei allen Farbaufnahmen die trockene Schicht mit Dammarlack (3 g Dammarharz in 100 ccm Benzol oder Tetrachlorkohlenstoff) dünn und gleichmäßig zu überziehen. Man gießt also eine geringe Menge des flüssigen Lackes auf die Platte und schwenkt diese hin und her, bis die Platte überall gleichmäßig mit Lack überzogen ist. Dann wird die getrocknete Schicht, wie bei den Glasbildern üblich, mit einer Deckplatte geschützt und umrandet (s. S. 126).

Sollte es sich bei der genauen Prüfung der getrockneten Platte (vor dem Lackieren!) herausstellen, daß sie nicht genügend oder etwas zu stark gedeckt ist, so wird man in nicht zu extremen Fällen durch Verstärkung oder Abschwächung eine Korrektur noch erzielen können. Zu diesem Zweck sind im Handel Verstärker und Abschwächer eigens für Farbenplatten mit den notwendigen Anweisungen erhältlich. Viel Hoffnung kann man allerdings auf eine solche Nachbehandlung nicht setzen, denn die Reinheit des Farbenbildes leidet meistens, namentlich bei der Abschwächung, merkbar darunter. Falls man aber auf die Nachbehandlung angewiesen ist, muß man damit im klaren sein, daß bei der Farbenplatte, welche ein Positivbild enthält, die zu starke Deckung eine Verstärkung und die ungenügende Deckung eine Abschwächung erfordert (vgl. S. 118), also umgekehrt wie bei der Nachbehandlung der gewöhnlichen Negative.

**62. Das Aufnahmebuch. Zusammenfassung.** Den ganzen Vorgang der Aufnahme mit den dazu benutzten optischen und photographischen Hilfsmitteln pflegt man ordnungsgemäß in das Aufnahmebuch (Protokoll) einzutragen, wie das die Tabelle 15 zeigt.

Die Spalten eines solchen Protokolls enthalten nicht nur Einzelheiten, die man in Hinsicht auf spätere Aufnahmen in Erinnerung behalten will, sie bieten zugleich einen lehrreichen Überblick der Faktoren, welche bei der Entstehung des mikrographischen Bildes zusammenwirken und die man bei jeder Aufnahme berücksichtigen muß.

Unter diesen können wir drei Gruppen unterscheiden: 1. die mikroskopisch-optischen Faktoren, welche in den Spalten I bis IX und X enthalten sind (Faktoren der mikroskopischen Abbildung und Beleuchtung), 2. die photographisch-technischen Faktoren, welche mit den mikroskopisch-optischen mannigfaltig verknüpft sind (Spalten X und XI bis XIII), 3. schließlich die photographisch-technischen Faktoren, welche von den mikroskopisch-optischen vollkommen unabhängig sind (Spalten XIV und XV). Von größter praktischer Wichtigkeit ist es, festzustellen, welche Zusammenhänge zwischen den einzelnen Faktorengruppen bestehen und welche es sind, auf die man bei der Aufnahme die Aufmerksamkeit in erster Reihe richten soll. Am wenigsten braucht man sich bei der Aufnahme um die photographisch-technischen Handgriffe zu kümmern, welche mit der mikroskopischen Optik keine oder nur ganz lose Beziehungen haben (Spalten XIV und XV). Unter den übrigen können

Tabel

Protokoll-Nr	Objekt	Objektiv	Okular	Kameraauszug	Vergrößerung	Lichtquelle	Kondensor	Iris
1	Pleurosigma ang in Luft eingeschl	Hom Imm Apo- chromat ZEISS, Ap 1,3	Homal IV	50	1500	Kohlen- bogenl (Gleich- strom	Aplan Konden- sor, Ap 1,4	25 T lur
2	Salamander- larve, Azo- carmin- MALLORY, 7,5 $\mu$	ZEISS- Apochr 16 mm	Peripl Okular 8 $\times$	60	130	Punkt- licht- lampe 2 G	Apl Kon- densor ohne Front	22 (? lur
3	Dasselbe	Dass	Dass	60	130	Dass	Dass	D
4	Frisches Blut- präparat (Dunkelfeld)	Hom Imm ZEISS spez X	Homal IV	50	960	Kohlen- bogen- lampe	Kar- dioid- kond	Of
5	Dass	Dass	Dass	50	960	Dass	Dass	Di
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII

wir nun solche unterscheiden, welche schon vor der Aufnahme festgelegt sind und die Faktoren der mikroskopischen Bilderzeugung darstellen (primäre Faktoren I bis V) Diese sind von den photographisch-technischen Faktoren (XI bis XV) weitgehend unabhängig, während die letzteren von ihnen streng abhängen. Unter den mikroskopisch-optischen Faktoren stellt Spalte V einen Sammelfaktor, die erforderliche Vergrößerung, dar, welcher als Produkt von Spalte II, III und IV aufgefaßt werden kann. Die Spalten VI, VII und VIII sind von diesem Faktor und ebenso von I abhängig. Der Filterfaktor (X) hängt streng von I, VI und XI ab, XI wiederum von I, VI und XII. Die Belichtungszeit (XII) ist von sämtlichen genannten Faktoren I bis XI abhängig, dasselbe läßt sich auch vom Faktor XIII (Entwicklung) sagen, der ja in der Hauptsache und unmittelbar von XII abhängt. Bei den wichtigsten Vornahmen bei der Belichtung und Entwicklung, müssen also alle die hier angeführten II bis XII Faktoren in gleichem Maße berücksichtigt werden. Es sei nochmals betont, daß für das Gelingen der Aufnahme alle diese Faktoren untereinander von gleicher Bedeutung sind, bei Änderung der Faktoren, auch wenn nur ein einziger von ihnen geändert wird, müssen daher die Belichtung und die Entwicklung den neuen Verhältnissen angepaßt werden.

## Protokoll

Kollektor- blende	Lichtfilter	Platten- sorte	Belich- tung	Entwicklung	Nach- behandlung	Positiv- verfahren	Bemerkungen
30 mm	Kobaltglas (SCHOTT) 5proz Kupfer- vitriol	PERUTZ- Tono- platte	12"	Metol- Hydro- chinon 1 5, 5 Min	—	Satinox, ultrahart, Gluhbune 75 W 50 Amp 8", Hochglanz	Gute graphi- sche Kon- traste
25 mm	ZELTNOW 5proz Kup- fervitriol, 2proz Kali- bichrom	Agfa- Chromo- Iso- Rapid	5"	Dass	—	Dass	Muskulatur und Kerne etwas zu dunkel
25 mm	ZELTNOW 2proz Kali- bichrom + 1proz Kupfer- vitriol	Agfa- Panchro- matische Platte	5"	Desensibili- sierung in Pinakryptol- gum, Metol- Hydrochi- non 1 5, 5 Min	—	Dass	Objekt- getreue Wiedergabe der Tonweite
Offen	—	PERUTZ, Silber- eosin	40"	Metol- Hydro- chinon 1 5 5 Min	Agfa- Ver- stärker	Satinox, ultra- hart, 25 Amp 5", Hoch- glanz	Weißer Blut- zellen etwas flau
Offen	1proz Kupfer- vitriol	Dass	45"	Metol- Hydro- chinon 1 10 10 Min	—	Dass	Auch die fei- nere Struk- tur der wei- ßen Blutzell- en deutlich sichtbar
IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	

## XIV. Die großen mikrophotographischen Apparate.

63 Allgemeines. Den allgemeinen Gang der mikrophotographischen Aufnahme und die anschließende photographische Behandlung des Lichtbildes haben wir an einer kleinen Vertikalkamera kennengelernt, wie eine solche z. B. der mikrophotographische Apparat nach ROMERS (REICHERT), die Vertikalkamera nach HEGENER (ZEISS), der mikrophotographische Apparat M A IVa der Firma LEITZ oder die Vertikalkamera Cam R der Firma REICHERT darstellen. Die zwei erstgenannten Apparate sind, wie schon erwähnt, mit Kammer für die Plattengröße  $9 \times 12$  cm ausgerüstet, die zwei letztgenannten aber mit solchen für Platten von  $13 \times 18$ . Da jedoch der Kameraauszug auch hier nur ungefähr so groß ist wie sonst bei den kleinen Vertikalkameras (50—75 cm), können auch diese noch zu den kleinen Vertikalapparaten gerechnet werden.

Für Aufnahmen auf große Platten sind in erster Reihe die großen mikrophotographischen Apparate bestimmt. Hier hat man die geeignete Balglänge (75—150 cm), um die Plattenfläche vollständig auszunutzen. Je größer jedoch der Kameraauszug ist, um so strenger müssen die Bedingungen eingehalten werden, welche eine standfeste Aufstellung und eine lichtstarke Beleuchtung

gewähleisten. Das Kameragestell wird dementsprechend auf Schienen verschiebbar aufgestellt, die optische Bank für die Beleuchtungseinrichtung wie auch die Fußplatte für das Mikroskop werden länger und die ganze Einrichtung muß schwingungsfrei auf einem eigenen Gestell (bzw. auf zwei Gestellen) oder auf einem eigens dafür angefertigten massiven Tisch untergebracht werden. Verstandlicherweise erfordern dann solche großen Apparate einen eigenen Arbeitsraum für sich oder einen abgetrennten Platz, wo sie aufgestellt und in Ordnung gehalten werden.

Die großen mikrophotographischen Apparate bereiten, was ihre Unterbringung und Handhabung betrifft, mehr Schwierigkeiten als die kleinen Vertikalkameras. Daß ihr Kaufpreis dabei wesentlich höher ist als bei diesen letzteren, liegt auf der Hand. Man muß also genau prüfen, welche wesentlichen Vorteile die großen Apparate den kleinen gegenüber bieten, da bekanntlich auch die billigeren und bequemerem kleinen Apparate restlos zufriedenstellende Lichtbilder zu liefern vermögen. Hier ist zunächst hervorzuheben, daß die großen Apparate im wahren Sinne des Wortes die Universalapparate der Mikrophotographie darstellen. Es ist ja richtig, daß die kleinen Vertikalkammern in vielen Fällen vollkommen befriedigende Resultate liefern, und es viele Forscher gibt, die selten in die Lage kommen, auf einen großen mikrophotographischen Apparat angewiesen zu sein. Wenn man jedoch z. B. Bilder anfertigen muß, welche aus größeren Entfernungen betrachtet werden sollen (Wandtafeln u. a.) und das Bild aus der größeren Entfernung ebenso scharf erscheinen muß wie aus der deutlichen Sehweite, so wird man zu solchen Aufnahmen kleine Vertikalkammern nicht gebrauchen können, sondern man wird auf die großen mikrophotographischen Apparate mit einem langen Auszug angewiesen sein. Ebenso hat man von dem langen Kammerauszug wesentliche Vorteile, wenn man das große Gesichtsfeld, welches uns die schwachen und schwachsten Objektive liefern, voll ausnutzen muß, wie dies namentlich bei Aufnahmen von ganzen Organismen und ähnlichen Übersichtspräparaten der Fall ist (s. S. 193). Bei Balglängen von 50—70 cm wird man oft ein kleineres Sehfeld mit einer geringeren Vergrößerung erhalten, als es dem Zweck der Aufnahme entspricht. Da die schwachen Objektive eine forderliche Vergrößerung gestatten, welche selbst bei 1—1½ m Balglänge nicht überschritten wird (s. S. 186), hat man bei den großen Apparaten die günstige Gelegenheit, Übersichtsbilder in stark vergrößerter Form aufzunehmen, ohne die Scharfe der Abbildung dadurch zu gefährden. Zu Aufnahmen von Übersichtsbildern bei schwachen Vergrößerungen (s. S. 196) eignen sich die großen Apparate also entschieden besser als die kleinen. Das wäre aber doch nicht das wichtigste. Wird eine kleine Vertikalkamera mit einem Mikroskop verbunden, das einen breiten Tubus hat und mit den entsprechenden Trichtern für die schwachsten Objektive ausgerüstet ist, so lassen sich in der Mehrzahl der Fälle auch bei schwachsten Vergrößerungen Aufnahmen mit den kleinen Vertikalkameras einwandfrei herstellen. Der wesentliche Vorteil der großen mikrophotographischen Apparate liegt jedoch darin, daß man mit ihnen das Höchstmaß dessen erhält, was heute die technische Herstellung auf diesem Gebiet zu leisten vermag. Dadurch, daß diese Apparate mit den mikroskopischen Wissenschaften zusammen die Entwicklung der letzten 40 Jahre mitgemacht haben, haben sie sich den mannigfaltigen Ansprüchen der Forschung ständig angepaßt und sich zu den Universalapparaten der Mikrophotographie entwickelt, bei denen erprobte Methoden, spezielle Einrichtungen und genaue Vorschriften vorhanden sind für alle Arten von Aufnahmen, die der Lehrer oder der Forscher bei schwachen und bei starken Vergrößerungen in durchfallendem oder auffallendem Licht an mikroskopischen oder makroskopischen Präparaten erzielen will. Während bei

den kleinen Vertikalkameras die Invention der Mikrophotographen eine entscheidende Rolle spielt, und man mehr oder weniger umfangreiche Improvisationen an der Einrichtung vornehmen muß, sobald die Art der Aufnahme eine von der üblichen abweichende Anordnung erfordert, findet man an den großen Apparaten für alle in der mikrophotographischen Praxis überhaupt denkbaren Fälle Einrichtungen und Vorschriften fertig, die nur benutzt zu werden brauchen, um sicher zu einem guten Erfolg zu gelangen. Selbst für makroskopische und Ateheraufnahmen lassen sich solche Apparate gut verwenden, wenn man das Mikroskop entfernt und die Kamera auf ihrem Gestell mit den entsprechenden photographischen Objektiven ausrüstet. In Instituten und Laboratorien also, wo bei einer vielseitigen und intensiven mikrophotographischen Arbeit auf einwandfreie mikro- und makrophotographische Aufnahmen Gewicht gelegt wird (Lichtbildsammlungen, Wandtafeln, Organschnitte bei Lupenvergrößerung, Abbildungen

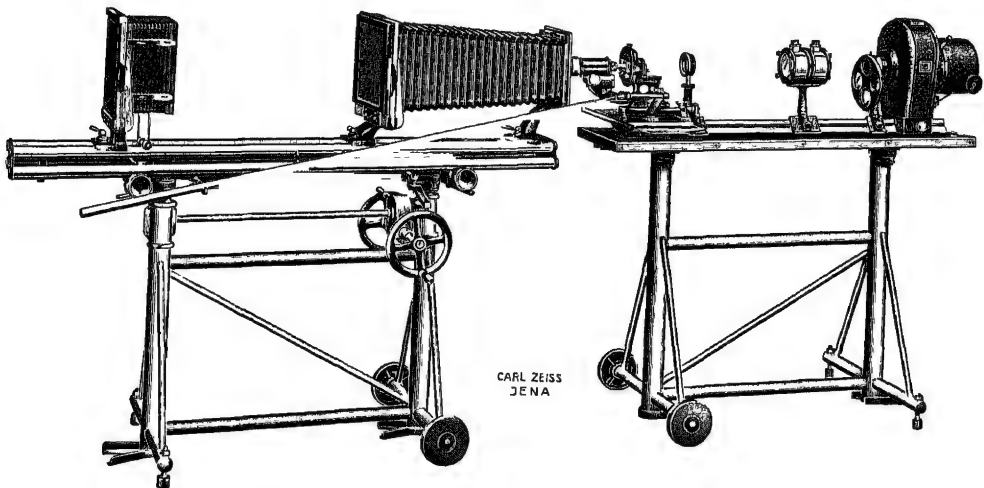


Abb. 60 Die große Horizontalkamera der Firma C. ZEISS (Aus ZEISS Druckschrift Mikro 401)

zu wissenschaftlichen Veröffentlichungen usw.), gehört der große mikrophotographische Apparat zu den unentbehrlichen wissenschaftlichen Ausrüstungsgegenständen. Allerdings ist es ratsam, erst mit einer kleinen Vertikalkamera die Erfahrungen zu sammeln, die zu der richtigen Handhabung der großen Apparate erforderlich sind.

**64 Die große Horizontalkamera der Firma ZEISS (Abb. 60)** (Vgl. auch die große Horizontalkamera für Metallurgie der Firma W. WATSON & SONS LTD., London, Abb. 154)

a) Grundsätze der Konstruktion. Der Apparat ist dadurch ausgezeichnet, daß die Aufnahmekamera auf einem eigenen Gestell, vom Mikroskop und der Beleuchtungseinrichtung getrennt, waagrecht steht. Diese zwei grundsätzlichen Eigenschaften — die waagerechte Lage der Kamera und die voneinander getrennten zwei Gestelle (das Kameragestell und das Tischgestell), auf denen die Einrichtung untergebracht ist, beeinflussen den ganzen Bau und auch die Handhabung des Apparates. Die große Kamera für Platten bis zur Größe 24 · 30 besteht aus einem vorderen konischen und einem hinteren prismatischen Teil. Die zwei Teile sind voneinander leicht zu trennen, so daß der Vorderteil allein mit Mattscheibe und Kassetten ausgerüstet, als Kamera benutzt werden kann. Zu Kameralängen von 1 oder 1½ m wird der hintere Rahmen des vorderen

Teils an den vorderen Rahmen des hinteren Teils lichtdicht angeschlossen. Am häufigsten wird der vordere Teil allein benutzt, vor allem bei Aufnahmen mit mittelstarken und starken Objektiven. Der ganze Balgauszug, d. h. beide Teile zusammen, kommen hauptsächlich bei Aufnahmen mit den schwachsten Objektiven (s. S. 184) in Betracht.

b) Das Kammergestell. Die Kamera ist auf drei Balgenträgern, und diese sind auf den Laufschlitten aufgestellt. An diesen letzteren befindet sich die Zentimeter- und Millimetereinteilung, mit der man die Länge des Balgauszuges bestimmt. Die Gleitschienen bestehen aus zwei unteren und zwei oberen parallelen

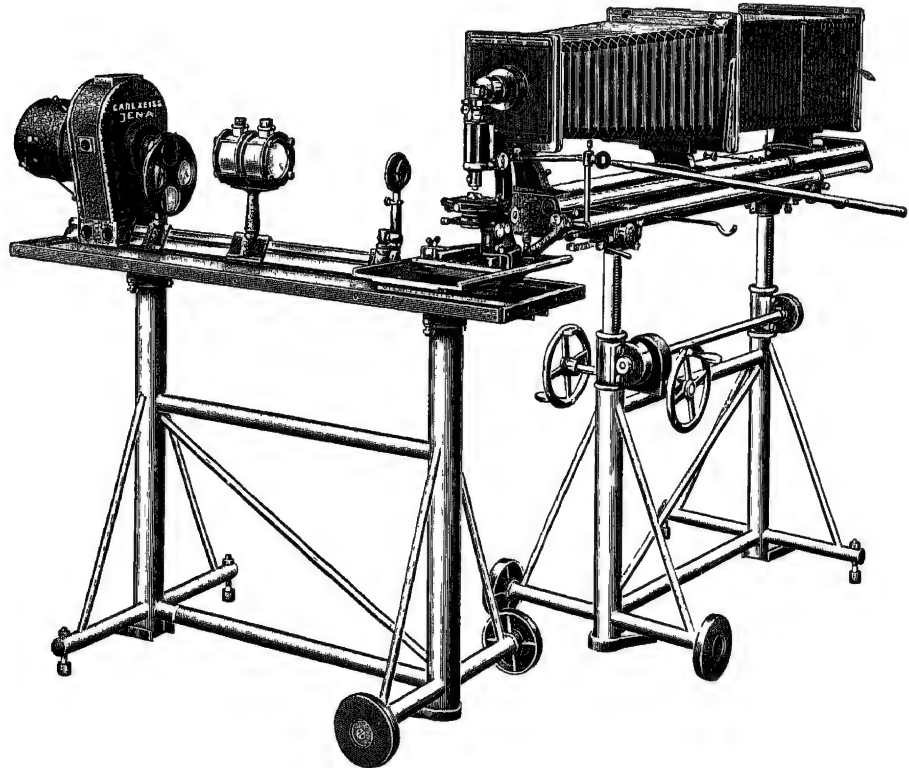


Abb 61 Große Horizontalkamera bei senkrechtem Mikroskop mit Vertikalilluminator  
(Aus ZEISS-Druckschrift Mikio 401)

Röhren, von denen die unteren auf zwei Rollenpaare des Kameragestells gelagert sind und durch Drehung der Rollen sich in der Längsachse verschieben lassen. Die Rollenpaare sichern die erschütterungsfreie Lage der Kamera, denn die unteren Röhre haben eine starke Federung und fangen die etwaigen Stöße von unten auf. Weiterhin bietet die Aufstellung der Kamera auf Rollen und auf Laufschlitten den Vorteil, daß man den Kameraauszug bald durch Verschiebung der Laufschlitten, bald in mehr abgestufter Form, durch Drehung der Rollen regeln kann. Das Untergestell ist aus starken Röhren zusammengestellt und ruht auf vier Füßen, von denen die vorderen mit Rollen, die hinteren mit Schrauben versehen sind. Beim Fortbewegen des Gestells hebt man die hinteren Füße hoch und verschiebt das Gestell auf den Rollen der Vorderfüße. Außerdem werden sowohl das Kamera- wie das im großen und ganzen ähnlich gebaute Tischgestell

mit je einem Paar eiserner Platten, sog. „Schuhen“, ausgerüstet, welche die Gestelle in der gewünschten Stellung fixieren

Dabei verfährt man folgenderweise: Man stellt zuerst das Tischgestell mit dem Mikroskop auf einem geeigneten Platz auf. Die Schuhe für das Tischgestell werden nun auf den Fußboden gelegt, so daß die Säulen des Gestells vorn und hinten in die Führungen der Schuhe gut hineinpassen. Dann werden die Schuhe an dem Fußboden befestigt und bilden ständig den Anschlag bei der Aufstellung des Tischgestells. Man rüstet dafür den Mikroskoptubus mit einem Trichter für schwache Mikroskop, bis das Objektivbrett der Kamera — von dem man den Rohransatz des Lichtschutzes zuvor entfernt — knapp am Rand des Trichters steht. So hat man die geringste Entfernung ermittelt, die zwischen Kamera- und Tischgestell in Betracht kommt. Man legt also die „Schuhe“

unter die Säulen des Kameragestells und befestigt sie am Fußboden. Die Stellung des Kameragestells zum Mikroskopgestell ist damit ein für allemal bestimmt, denn der so getroffene Abstand paßt auch für das Mikroskop mit innerem Tubus und für die 160 mm Tubuslänge. Sollte immerhin in Ausnahmefällen der Abstand zu kurz sein, so schiebt man das Objektivbrett der Kamera etwas zurück und rechnet die Kammerlänge von der Ziffer aus, bei der das Objektivbrett steht. In manchen Fällen, namentlich bei senkrechter oder waagerechter Anordnung mit einem Vertikalilluminator (s. S. 229), wird es notwendig sein, die zwei Gestelle nicht geradlinig, sondern senkrecht zueinanderzustellen (Abb. 61). Das Tischgestell bleibt dann an seinem früheren Platz, das Kameragestell wird dagegen aus den Schuhen herausgehoben und senkrecht zum Tischgestell bis zum Tubusende des Mikroskops vorgeschoben. Mit zwei weiteren Schuhen wird sein Platz auch in dieser Stellung festgelegt.

Für Aufnahmen mit senkrechtem Stativ ist das Kameragestell mit Trieben ausgerüstet, durch welche es bis zu einer Höhe von 41 cm gehoben werden kann.

c) Das Tischgestell ist in seinem Unterteil ähnlich gebaut wie das Kameragestell. Auf seiner Tischplatte trägt es die optische Bank, die Dreikantchiene, auf der die Mikroskoptußplatte und die Unterlagen für die Lampen angebracht sind. Die Fußplatten werden als einfache niedrige und hohe Fußplatten oder als sog. Universalfußplatten erzeugt. Bei den großen Apparaten werden meistens diese letzteren benutzt. Die einfachen Fußplatten unterscheiden sich kaum von jenen, welche wir an der kleinen Vertikalkamera von ROMEIS kennengelernt haben. Die Universalfußplatte besteht aus zwei Stücken (Abb. 62), von denen das untere, größere, eine mit zwei Schienen versehene Grundplatte darstellt. In die Schienen werden die quadratischen Mikroskopplatten wie Schlitten eingeschoben. Die Mikroskopplatten führen die Anschlagleiste und die Fußklemmen, mit denen das Mikroskop festgeschraubt wird. Ist die Mikroskopplatte in der Schlittenführung auf die richtige Stelle, d. h. in die optische Achse der Beleuchtungseinrichtung eingestellt, so wird sie hier mit einer Exzenterklemme festgeklammert. Da die Mikroskopplatten genau quadratisch sind, lassen sie sich ebensogut um 90° gedreht in die Grundplatte einsetzen, d. h. so einstellen, daß die Symmetrieebene des Mikroskops senkrecht zur optischen

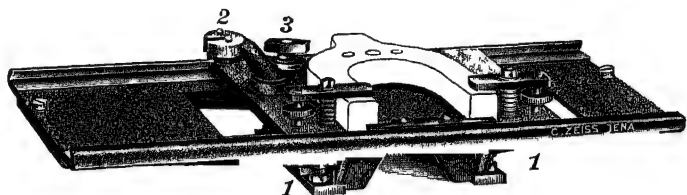


Abb. 62 Universalfußplatte (Aus ZEISS-Druckschrift Mikro 401)

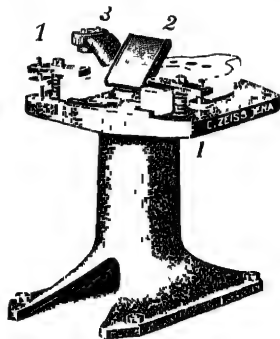


Abb. 63 Hohe Fußplatte mit Spiegel (Aus ZEISS-Druckschrift Mikro 401)



Tabelle 16 Beleuchtungseinrichtung der großen mi

Vergrößerungen und Leuchtfeld	Lichtquelle	Auf der optischen Bank			
		a	b	c	d
Starke Mikro- skopvergro- ßerungen, Leuchtfeld etwa $\frac{3}{4}$ mm oder darunter (Abb 64)	In der Regel ohne Matt- scheibe ver- wenden, mit Ausnahme der Gluhlampen (Halbwatt- lampen)	<b>Kollektor K</b> , verschieden je nach der Lichtquelle Er bildet die Licht- quelle mög- lichst scharf auf die Blende <b>J<sub>3</sub></b> des Mikro- skopkonden- sors <b>M</b> ab, wenn er allein eingeschaltet ist. Die an dem Gehäuse der Lichtquelle angebrachten Einrichtungen (Zentrier- schrauben, verstellbarer Arm usw.) ge- statten, das Bild der Licht- quelle gegen die Blende zu zentrieren.	<b>Kollektor- blende J<sub>1</sub></b> , an der Fassung des Kollektors angebracht. Sie wird durch den Mi- kroskopkon- densor <b>M</b> in die Objekt- ebene und dann mit dem Objekt auf die Mattscheibe abgebildet und ist stets so weit zu schlie- ßen, daß nur der abzubil- dende Teil des Objekts be- leuchtet ist.	Kein Hilfskol- lektor hinter der Kollektor- blende	
Mittlere Mi- kroskopver- größerungen, Leuchtfeld et- wa $2-2\frac{1}{2}$ mm und darunter (Abb 64)					
Ganz schwache Mikroskop- vergrößer- ungen, Leuchtfeld et- wa 3—4 mm und darunter (Abb 65)				Hilfskollektor <b>H 66</b> , verlegt das Bild der Lichtquelle auf die Kon- densorblende <b>J<sub>3</sub></b>	
Übersichts- bilder mit Pla- naren oder Mikrotaren ohne Okular, Leuchtfeld etwa 20 mm und darunter (Abb 66)	In der Regel mit Matt- scheibe vor dem Kollektor <b>K</b> verwenden		Desgl. Sie wird durch den Kondensor auf Reiter <b>K 20</b> in die Objekt- ebene abge- bildet und ist ebenfalls so weit als zu- lässig zu schließen	Hilfskollektor <b>H 100</b> , verlegt das Bild der Lichtquelle auf die Iris- blende <b>J<sub>2</sub></b> auf Reiter	
Desgl. Leuchtfeld etwa 30 mm und darunter (Abb 67)				Hilfskollektor <b>H 33</b> , verlegt das Bild der Lichtquelle auf die Iris- blende <b>J<sub>2</sub></b> auf Reiter	Zentrierlin- <b>Z 20</b> . Hel und Senk sowie Neig zentriert c Bild der K lektorblend in der Obje ebene und e der Matt scheibe

Zeichenerklärung, gemeinsa

**K** Kollektor, **J<sub>1</sub>** Kollektorblende, **H 66**, **H 100**, **H 33** Hilfskollektoren, **F** Lichtfilter, **Z** -  
Abbeschen Beleuchtungsapparates oder des Mikroskopkondensors, **B** Brille

Ebene der Beleuchtung steht. Eine solche Drehung des Mikroskops wird dann  
erforderlich sein, wenn man bei aufrecht stehendem Mikroskop den Vertikal-  
illuminator benutzt. Das senkrecht stehende Mikroskop wird entweder auf

## .opischen Apparate (Aus ZEISS-Druckschrift Mikro 394)

Auf der optischen Bank				Am Mikroskop	
e	f	g	h	i	k
<p><b>Lichtfilter <math>F_1</math></b>  lössig oder  st, soweit sie  ht in den  endenträger  les ABBE-  schen Be-  leuchtungs-  parats un-  terhalb der  sblende (<math>J_3</math>)  ngelegt wer-  den</p>	<p><b>Zentrierlinse Z 40.</b> Heben  und Senken,  sowie Neigen  nach rechts  und links zen-  triert das Bild  der <b>Kollektor- blende</b> in der  Objektebene  und auf der  Mattscheibe  gegen die  Achse des Mi-  kroskops</p>	<p><b>Irisblende <math>J_2</math> auf Reiter</b> mit  Teilung, wird  nicht ge-  braucht, da-  her <b>vollig</b>  offnen</p>	<p><b>Zentrierlinse Z 70.</b> Heben  und Senken,  sowie Neigen  nach rechts  und links zen-  triert das Bild  der <b>Kollektor- blende</b> in der  Objektebene  und auf der  Mattscheibe  gegen die  Achse des Mi-  kroskops</p>	<p><b>Irisblende <math>J_3</math> des ABBEschen Beleuchtungs- apparats.</b> Sie  regelt die  Apertur der  Beleuchtungs- kegel und ist  nach Bedarf  zu schließen  Die Apertur  prüft man,  indem man  durch ein  Blendglas  nach Entfer-  nen des Oku-  lars auf die  Hinterlinse  des Objektivs  blickt Ein-  zelne Konden-  soren sind  selbst mit ei-  ner Irisblende  versehen, dan  bleibt jene  offen</p>	<p><b>Mikroskop- kondensoren M</b> mit Front- linse, die Aperi- tur reicht bis  zum Nenn- wert</p> <p><b>Desgl. ohne Frontlinse,</b> die  Apertur reicht  bis etwa 0,3  bis 0,4 — In  beiden Fällen  Kondensor  mit dem Trieb  so einstellen,  daß die <b>Kol- lektorbende</b>  möglichst  scharf in der  Objektebene  und auf der  Mattscheibe  abgebildet  wird</p>
		<p><b>Irisblende <math>J_2</math> auf Reiter</b>  nach Bedarf  schließen Sie  regelt die  Apertur der  Beleuchtungs- kegel Diese  prüft man,  indem man  durch den Tu-  bus auf die  Objektiv- öffnung herab-  blickt Dabei  ein Blendglas  verwenden</p>	<p><b>Kondensor K 20 auf Rei- ter;</b> er ist  durch Ver-  schieben auf  der optischen  Bank so ein-  zustellen, daß  er die <b>Kollek- torblende <math>J_1</math></b>  möglichst  scharf in der  Objektebene  und auf der  Mattscheibe  abbildet</p>	<p><b>Irisblende des ABBEschen Beleuchtungs- apparats</b> wird  nicht ge-  braucht sie  bleibt daher  offen</p>	<p><b>Brillenglas- kondensoren B.</b></p> <p><b>Für Planare:</b>  100 Kond 10,5  75 „ 7,5  50 „ 5  35 „ 3,5  20 „ 2</p> <p><b>Für Mikrotare:</b>  70 Kond 7,5  35 „ 4  Sie stehen  dicht vor dem  Objekt</p>

i die Abbildungen 64 — 67

10, Z 70 Zentrierlinsen,  $J_2$  Irisblende auf Reiter, K 20 Kondensor auf Reiter,  $J_3$  Irisblende des  
skondensor, M Mikroskopkondensor T Objektisch des Mikroskops

den hohen Untersatz oder auf die hohe Fußplatte (Abb 63) gestellt In  
beiden Fällen wird es so hoch stehen, daß die Strahlen gerade auf den Spiegel  
fallen Am anderen Ende der optischen Bank befindet sich die Unterlage für

die Lampe, bei den großen Horizontalkameras also für eine Gleichstromkohlenbogenlampe mit automatischer Regelung. Das Gehäuse solcher Lampen ist mit drei Stellschrauben ausgerüstet, mit denen das Lampengehäuse genau waagrecht gestellt wird. Selbstverständlich muß auch die Tischplatte genau nivelliert werden. Beiderseits der optischen Bank ist der Tisch aus Holzplatten gebildet, auf denen man Präparate, Linsen usw. bereit stellt. Neben der optischen Bank

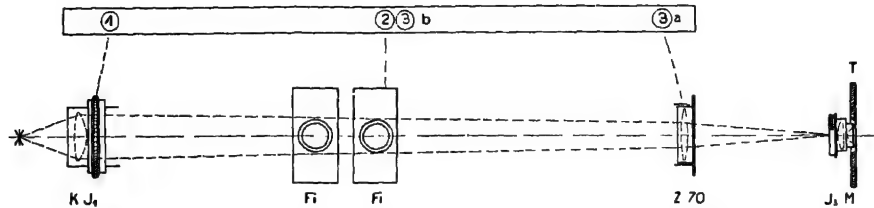


Abb 64 Anordnung für schwache und starke Vergrößerungen ohne Hilfskollektor

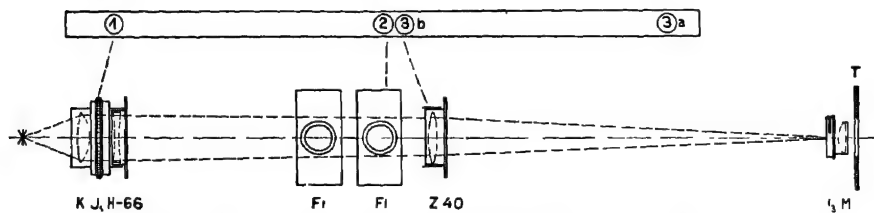


Abb 65 Anordnung für schwache Vergrößerungen mit einem Hilfskollektor

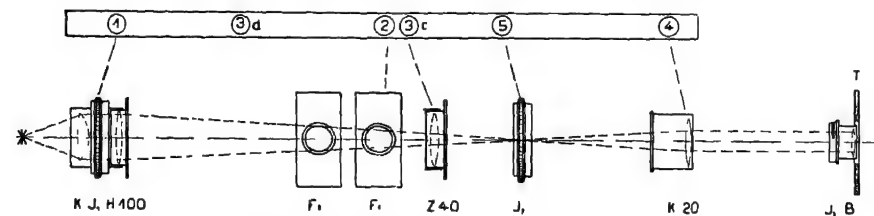


Abb 66 Anordnung für Mikrotare und Planare

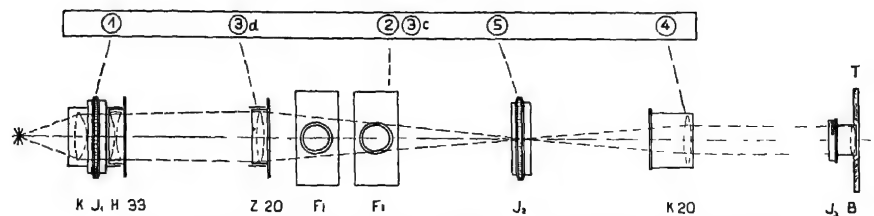


Abb 67 Anordnung für Mikrotare und Planare und für besonders großes Schild

findet man meistens auch die sog. Lineale, welche, den Anweisungen der beigegebenen Druckschriften entsprechend, die Aufstellung von Hilfslinsen und Kollektoren erleichtern (s. Tabelle 16 und Abb 64–67).

d) Die optische Ausrüstung. Als Mikroskop gehört zum großen Apparat unbedingt das mikrophotographische Stativ mit breitem Tubus (s. Abb 3). Ratsam ist, das Mikroskop lieber mit Schlittenwechslern als mit einem Revolver auszurüsten. Zum großen Stativ wird man neben der notwendigen Anzahl von

Objektiven und Okularen bzw. Homalen auch die Stützen für die schwächsten Objektive (s. S. 188) anschaffen. Als Bestandteile des Beleuchtungsapparates gehören dann zur Einrichtung ein aplanatischer oder achromatischer Kondensor, zwei Brillenglaskondensoren, ein Hilfskollektor, eine Kollektorlinse, eine Irisblende, zwei Zentrierlinsen (vgl. Tabelle 16). Die Kollektor- und Zentrierlinsen wie auch die Irisblende werden auf verstellbaren Reitern aufgestellt. Zur Beleuchtungseinrichtung gehört noch der Kuvettenstander auf Reitern mit zwei auseinanderlegbaren Porzellankuvetten für Lichtfilter und Wärmeschutz. Schließlich wird man bei der großen Horizontalkamera das Umkehrprisma mit Lichtschutz und den Umkehrspiegel nicht entbehren können, welche die Aufnahme mit aufrecht stehendem Stativ ermöglichen. Ebenfalls braucht man für das aufrecht stehende Stativ einen planen Spiegel in fester Fassung, unter  $45^\circ$  geneigt, oder ein ähnliches Prisma, um den Strahlengang genau zentrieren zu können (s. S. 160).

e) Die Handhabung des Apparates bei waagerechter Anordnung. Die große Horizontalkamera ist in der Hauptsache für Aufnahmen mit waagerecht gestelltem Mikroskop bestimmt, und so ist auch ihre Handhabung bei dieser Stellung des Mikroskops am bequemsten. Die geradlinige Anordnung der optischen Ausrüstung von der Lichtquelle bis zur Einstellebene der Kamera gilt theoretisch für die vorteilhafteste, denn man erhält auf diese Weise den Lichtstrom der Lichtquelle ohne Verluste durch Spiegelung in die Öffnung des Mikroskops und von hier aus in die Einstellebene der Kamera. Ferner bildet die waagerechte Anordnung bei einem langen Auszug die größte Bequemlichkeit zur Einstellung und Prüfung des Mattscheibenbildes. Bei einer Vertikalkamera wird die Kontrolle der Einstellebene um so unbequemer, je länger der Kammerauszug ist. Schon bei einer Balglänge von 75 cm ist man genötigt, entweder Treppen (s. S. 162) zu benutzen oder das Mikroskop mit der optischen Bank sehr niedrig aufzustellen, und noch unbequemer gestaltet sich die Arbeit bei Balglängen von 1 oder  $1\frac{1}{2}$  m. Außerdem wird verständlicherweise auch die Standfestigkeit der Aufstellung verringert, wenn man das Kameragestell mit einem so langen Balgauszug senkrecht stellt. Alle diese Schwierigkeiten fallen fort, wenn die Kamera waagerecht angeordnet ist.

f) Die Feineinstellung. Der große Abstand zwischen der Einstellebene der Kamera und dem Mikroskop, der infolge eines langen Kammerauszuges entsteht, erfordert — sowohl bei waagerechter wie senkrechter Anordnung — einen technischen Behelf, um aus der Mattscheibenebene die Mikrometerschraube des Mikroskops betätigen und das Mattscheibenbild scharf einstellen zu können. Zu diesem Zwecke bedient man sich der Feineinstellung (Abb. 68). Diese besteht aus einem längeren Stab mit Gelenken, Zahnradern und einem kappenförmigen Greifer (dem HOOKESchen Schlüssel). Der HOOKESche Schlüssel, in den der Stab eingesteckt wird, ist auf einer verstellbaren sowohl für das aufrecht stehende wie für das umgelegte Stativ passenden Säule befestigt, die neben dem Mikroskop auf der Fußplatte steht. Der Greifer läßt sich sowohl auf dem Triebkopf der Mikrometerbewegung als auch auf dem Trieb der groben Einstellung befestigen. Bei Aufnahmen, wo man nur den Vorderteil des Kammerauszuges benutzt, ist man nur selten auf die Feineinstellung angewiesen.

Die Einstellung des Bildes erfolgt folgendermaßen. Erst stellt man die gewünschte Stelle des Präparates mit der gewählten Vergrößerung im aufrecht stehenden Mikroskop ein, wobei wie üblich das Licht durch den Spiegel in das Mikroskop geworfen wird. Eine einwandfreie optimale Beleuchtung wird dabei nicht angestrebt; es genügt, wenn man das Bild deutlich genug sieht, um die geeignete Stelle auszusuchen. Bei der großen Helligkeit der Kohlenbogenlampen

wird man dabei natürlich Blauscheiben vorschalten oder eine Rauchglasscheibe auf das Okular aufsetzen. Dann entfernt man den Spiegel und stellt das Stativ genau waagrecht. Ist das geschehen, so setzt man den Rohransatz in die Lichtschutzmanschette ein<sup>1</sup> und trachtet nun, das Mattscheibenbild voll auszuleuchten.

g) Die Zentrierlinsen und die Hilfskollektoren. Zur Ausrichtung der Beleuchtung verwendet man die Zentrierlinsen und die Hilfskollektoren (vgl. Tabelle 16). Das Einspiegeln des Lichtkegels in die Öffnung des Kondensors fällt ja beim waagrecht gestellten Mikroskop weg und muß durch Linsen ersetzt werden, welche den Strahlengang auf den Kondensor konzentrieren. Ursprünglich hat man dazu den achromatischen Kondensor (R. ZEISS) benutzt, den man

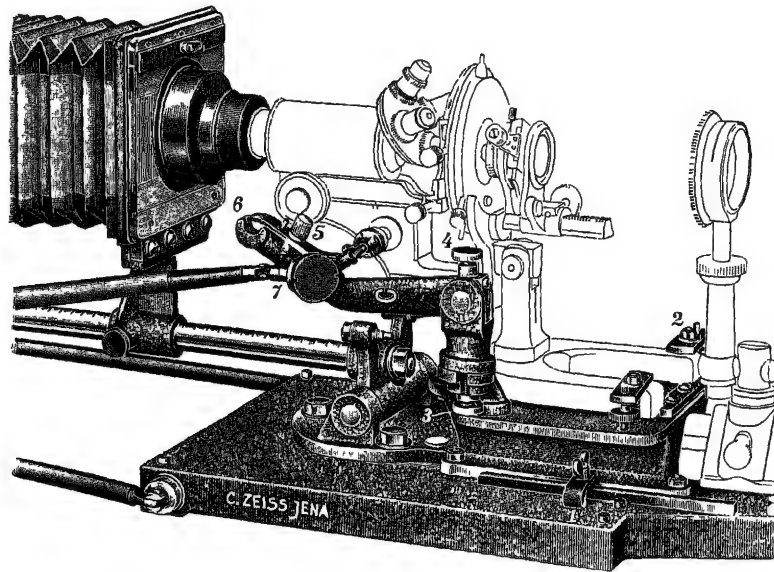


Abb 68 Feineinstellung für das Mikroskop (Aus ZEISS-Druckschrift Mikro 401)

1 = Klemmbügel zum Festhalten der niedrigen Fußplatte, 2 = Klemmbügel zum Festhalten des Mikroskops, 3 = Arm mit Klemme und zwei Stiften, 4 = Saule mit Gelenk, 5 und 6 = Festklemmung des HOOKESchen Schlüssels (7)

mit Hilfe einer Zentrierfassung in der optischen Achse der Beleuchtung ausgerichtet hat. Das ist mit einem achromatischen Kondensor einwandfrei zu lösen, da hier die Irisblende zwischen den Linsen des Kondensors untergebracht ist, und ihre Lage sich also mit den Linsen gemeinsam ändert. Steht jedoch die Aperturblende des Beleuchtungsapparates vom Kondensor getrennt, wie das bei den gewöhnlichen und aplanatischen Kondensoren oder den Kondensorobjektiven der Fall ist, so wird die Verschiebung des Kondensors mit einer Zentrierfassung einen falschen Strahlengang erzeugen, da nur die optische Achse des Kondensors, nicht aber die der Irisblende verschoben werden kann. Aus diesem Grunde ist es also vorteilhafter, wenn man nicht den Kondensor zur optischen Achse des vom Kollektor gelieferten Lichtkegels ausrichtet, sondern umgekehrt diesen in die optische Achse des Kondensors lenkt. Das erfolgt am einfachsten mit einer

<sup>1</sup> Vielfach ist es auch üblich, ein Blatt weißen Papiers auf dem Objektivbrett aufzuspannen und das Bild erst hier scharf einzustellen, bevor man den Lichtschutz geschlossen hat.

Korrektionslinse, die das Bild des Leuchtfeldes in das Unendliche entwirft. Man stellt also eine solche Linse dicht vor dem Mikroskop auf, und zwar auf einem Reiter, der durch ein grobes Gewinde mit Gradführung gehoben oder gesenkt und mit einem Gelenk nach rechts oder links verstellt werden kann. Genau koaxial müssen die Linsen und der Kondensor nicht stehen. Fällt die Mitte der Leuchtfeldblende auf die Linse, so wird auch das Bild des Leuchtfeldes, das der Kondensor in der Objektebene erzeugt, zentrisch zur Achse des Kondensors stehen. Die Brennweite der Zentrierlinse entspricht etwa ihrem Abstand vom Kollektor und ist also bedeutend (20—70 mal) größer als diejenige des Kondensors. Je kleiner nun der Abstand zwischen Zentrierlinse und Kondensor im Verhältnis zur Brennweite der Zentrierlinse ist, um so weniger wird die Lage und Größe des Bildes, das der Kollektor von der Lichtquelle in die Öffnung des Kondensors entwirft, durch die Bewegungen der Zentrierlinse beeinflusst. Man wird die Zentrierlinse also auf der optischen Bank nahe am Mikroskop aufstellen und bewirkt so trotz der ziemlich groben Bewegungen der Zentrierlinse fein abgestufte Verschiebungen des Leuchtfeldes. Die Größe des Leuchtfeldes ändert sich jedoch nur dann, wenn man Zentrierlinsen von verschiedenen Brennweiten abwechselnd benutzt und den Kollektor dementsprechend bald näher, bald weiter aufstellt. Da eine solche Verstellung des Kollektors gewisse Nachteile hat (so mußte z. B. auch die Lichtquelle verschoben werden), stellt man vorteilhafter dort, wo ein größeres Leuchtfeld erwünscht ist, einen Hilfskollektor in Verbindung mit der Zentrierlinse auf.

Die Hilfskollektoren bestehen aus einer verhältnismäßig schwachen Zerstreuungslinse, welche von der Lichtquelle aus betrachtet, unmittelbar hinter der Kollektorblende steht und demzufolge die Strahlen aus dem Kollektor von der optischen Achse ablenkt. Dadurch erreicht man dann, daß der Strahlengang auf die Öffnung des Kondensors gerichtet bleibt und nicht schon vor dieser Ebene vereinigt wird, wie das bei Zentrierlinsen mit kürzeren Brennweiten ohne Hilfskollektor der Fall wäre. Die Zusammenwirkung der Zerstreuungslinse des Hilfskollektors und der Zentrierlinse (Sammellinse) liefert das Bild eines ausgedehnten Leuchtfeldes in der Ebene der Irisblende (Kondensorblende) bei Zentrierlinsen von verschiedenen Brennweiten, bei Verstellung des Beleuchtungsapparates und der Irisblende, ohne daß man gezwungen wäre, an der Lage des Kollektors und der Lichtquelle etwas zu ändern.

Bei waagerechter Anordnung ist die Zentrierlinse stets unentbehrlich, Hilfskollektoren verwendet man jedoch nur dann, wenn man mit schwachen Vergrößerungen arbeitet. Im letzteren Fall wird man die Brennweite der Zentrierlinse je nach der Vergrößerung wählen und dementsprechend sowohl den Hilfskollektor wie auch den Kondensor. Bei starken Vergrößerungen besteht die Beleuchtungseinrichtung nur aus dem Kollektor, der Zentrierlinse (dicht vor dem Mikroskop) und dem ABBESchen Beleuchtungsapparat (Abb. 64). Bei schwachen mikroskopischen Vergrößerungen, wo der ABBESche Beleuchtungsapparat mit der Kondensorblende je nach der Brennweite der Brillenkondensoren oder der aplanatischen bzw. achromatischen Kondensoren ohne Frontlinse bald näher an der Tischöffnung, bald weiter davon steht, benutzt man zweckmäßig eine Aufstellung mit einem Hilfskollektor und einer Zentrierlinse näher an der Lichtquelle (Abb. 65). Bei den schwächsten Vergrößerungen (s. S. 184) wird man den Hilfskollektor und die Zentrierlinse wie bei den schwachen mikroskopischen Vergrößerungen anordnen, nur kommen hier noch dazu hinter der Zentrierlinse (nahe am Mikroskop) eine Irisblende und ein großer Kondensor auf Reitern, welche die Funktion des ABBESchen Beleuchtungsapparates in solchen Fällen übernehmen (Abb. 66 u. 67).

Die Zentrierlinsen und die Hilfskollektoren werden nach ihren Brennweiten als *Z 70*, *Z 40*, *Z 20* (Zentrierlinsen) oder *H 100*, *H 66*, *H 33* (Hilfskollektoren) bezeichnet. Bei starken Vergrößerungen, wo die Zentrierlinse dicht vor dem Mikroskop steht, benutzt man die Linse *Z 70*, sonst in Verbindung mit einem Hilfskollektor die Linse *Z 40*. Die Linse *Z 20* kommt nur dann zur Verwendung, wenn man ein sehr großes Sehfeld von mehr als 2 cm Durchmesser erzeugen will. Von den Hilfskollektoren benutzt man zu schwachen mikroskopischen Vergrößerungen in Verbindung mit *Z 40* den Hilfskollektor *H 66*, bei Lupenvergrößerungen aber *H 100* in Verbindung mit *Z 40* und einem Kondensor von langer Brennweite oder *H 33* in Verbindung mit *Z 20*, einem zweiten Hilfskollektor und einem Bullenglaskondensor<sup>1</sup>.

Die Kuvetten pflegt man hinter dem Kollektor bzw. dem Hilfskollektor etwa in der Mitte der optischen Bank aufzustellen.

h) Die Handhabung des Apparates bei senkrecht gestelltem Mikroskop. Frische Präparate, bei denen die Deckgläser oder die Objekte beim Umklappen des Stativs verrutschen konnten, eignen sich für Aufnahmen in waag-

rechter Anordnung nicht. In solchen Fällen wird man also die horizontale Kamera mit einem senkrecht gestellten Mikroskop verbinden müssen, entweder mit dem Umkehrprisma oder dem Umkehrspiegel.

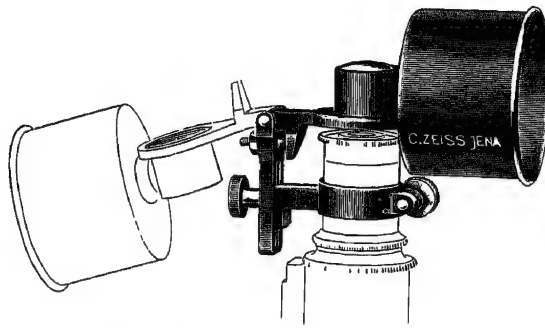


Abb. 69 Umkehrprisma mit Lichtverschluss  
(Aus ZEISS-Druckschrift Mikro 401)

Das Mikroskop wird auch hier ohne Spiegel auf die hohe Fußplatte gestellt, die mit dem festen, unter 45° geneigten Spiegel ausgerüstet ist. Der Vorteil eines solchen Spiegels oder Prismas liegt darin,

daß die Beleuchtung stets auf eine festgelegte spiegelnde Fläche fällt, während sonst beim beweglichen Spiegel das Suchen nach der richtigen Neigung zeitraubend ist und die einmal gefundene günstige Stellung leicht gestört werden kann. Das Ausrichten der Beleuchtung erfolgt so mit Zentrierlinsen und Hilfskollektoren wie beim waagerechten Mikroskop, nur mit dem Unterschied, daß der Strahlenkegel von der Lichtquelle nicht unmittelbar in die Öffnung des Kondensors, sondern erst auf die Spiegelfläche gelenkt wird. Das obere Ende des Tubus wird mit einem Umkehrprisma (mit versilberter Hypotenusenfläche) ausgerüstet, das, der Kamera zugekehrt, eine Lichtschutzmanschette trägt (Abb. 69). Das Prisma mit der Manschette wird am Tubus abklappbar befestigt, so daß das Prisma knapp oberhalb des Okulars in der Ebene des RAMSDENSchen Kreises steht. Das mikroskopische Bild wird also mit einer Ablenkung von 90° in die Öffnung der Horizontalkamera geworfen, wobei die rechte und linke Seite des Bildes unverändert bleiben, die obere und untere Seite aber miteinander vertauscht werden.

Ist der innere Tubus vom Stativ entfernt, wie stets beim Gebrauch von Homalen und den Stützen zu den anastigmatischen Objektiven, so kann man

<sup>1</sup> Sehr praktisch sind zum Wechseln der Hilfskollektoren die drehbaren Revolverscheiben (s. Abb. 61), auf denen man alle drei Hilfskollektoren anbringen kann. Außer den Hilfskollektoren enthält die Revolverscheibe noch eine vierte leere Öffnung für die Arbeiten ohne Hilfskollektor. Die Revolverscheibe wird auf dem Reiter des Kollektors befestigt, hinter der Kollektorblende.

das Umkehrprisma nicht benutzen, da die Austrittspupille des Mikroskops in solchen Fällen viel zu tief liegt. Hier benutzt man dann den Umkehrspiegel mit Anschlußvorrichtung. Als Spiegel dient eine auf der Vorderseite versilberte plane Glasplatte, deren spiegelnde Fläche durch einen ganz dünnen Lacküberzug geschützt ist.

Da die Lackschicht beim Reiben oder Wischen leicht beschädigt werden kann, muß der Spiegel sehr sorgfältig behandelt und vor etwaigen Schädigungen geschützt werden. Silberspiegel zeichnen sich durch ihr großes Reflexionsvermögen aus. Mehr Licht geht durch Reflexion verloren, wenn man statt des heikligen und teuren Silberspiegels die widerstandsfähigeren Metallspiegel aus rostfreiem Stahl benutzt. Da man jedoch solche Umkehrspiegel in der Hauptsache nur bei schwachen Vergrößerungen zu verwenden pflegt, spielt bei der Helligkeit einer Kohlenbogenlampe der so entstandene Lichtverlust keine besondere Rolle. Allerdings wird man beim Gebrauch der Homaie in Verbindung mit stärkeren Objektiven den Silberspiegel vorziehen.

Der Umkehrspiegel ist auf einem besonderen Objektivbrett befestigt in einem Gehäuse zum lichtdichten Anschluß an das Mikroskop (Abb. 70). Dieses Objektivbrett wird im gegebenen Falle gegen das gewöhnliche Objektivbrett der Kamera ausgetauscht.

Die Horizontalkamera muß in beiden Fällen, ob man das Prisma oder den Spiegel benutzt, so hoch gekurbelt werden, daß die lichtdichte Verbindung zwischen Kamera und Lichtschutzmanschette des Prismas oder der Anschlußvorrichtung des

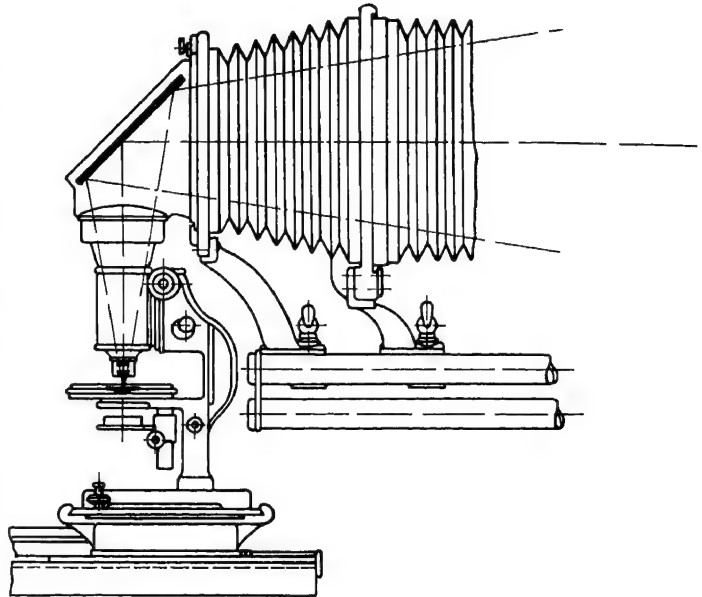


Abb. 70 Objektivbrett mit Spiegel für senkrechte Stellung des Mikroskops (Aus ZITTS-Druckschnitt Mikro 101)

Spiegels glatt hergestellt wird. Ist das Objektivbrett der Kamera mit Spiegel und Anschlußvorrichtung ausgerüstet, so muß zunächst der untere Rand der Anschlußvorrichtung einige Zentimeter oberhalb des Mikroskoptubus liegen. Dann schiebt man mit dem Lautschlitten das Objektivbrett auf das obere Ende des Mikroskoptubus hinüber und senkt die Kamera, bis der lichtdichte Anschluß erfolgt. Mit einer solchen umständlichen Einrichtung ist die Arbeit begreiflicherweise erschwert und A. KOHNER (8, S. 1811) betont auch deshalb mit Recht, daß die Nebenapparate zum aufrechten Stativ nur Notbehelfe darstellen, um im gegebenen Fall die große Horizontalkamera auch mit senkrecht gestelltem Mikroskop benutzen zu können. In der Hauptsache ist jedoch die große Horizontalkamera für die waagerechte Anordnung bestimmt und leistet dementsprechend bei dieser Anordnung das Beste.

**65 Die Horizontal-Vertikal-Apparate** a) Allgemeines. Die Nachteile der Horizontalkammern bei aufrecht stehenden Mikroskopen können am besten vermieden werden, wenn man Apparate benutzt, wo die große Kamera sowohl senkrecht wie waagerecht gestellt und der Vorteil eines langen Kameraauszuges bei aufrechtem und bei umgekipptem Mikroskop gleichermaßen ausgenutzt werden kann. Das Kammergestell ist hier durch ein starkes Gelenk mit dem Tischgestell verbunden, so daß man die Gleitschiene mit dem ganzen Gerüst, das



die Kamera trägt, je nach Bedarf horizontal umlegen oder aber senkrecht auf d Fußplatte des Mikroskops stellen kann. Selbstverständlich müssen diese Vorteile auf Kosten der Kammerlänge erlangt werden, da bei einem längeren Auszug ( $1-1\frac{1}{2}$  m) die Sicherheit der Aufstellung bei vertikaler Anordnung gefährdet ist. Die Horizontalvertikalkammern haben also in der Regel einen kürzeren Auszug

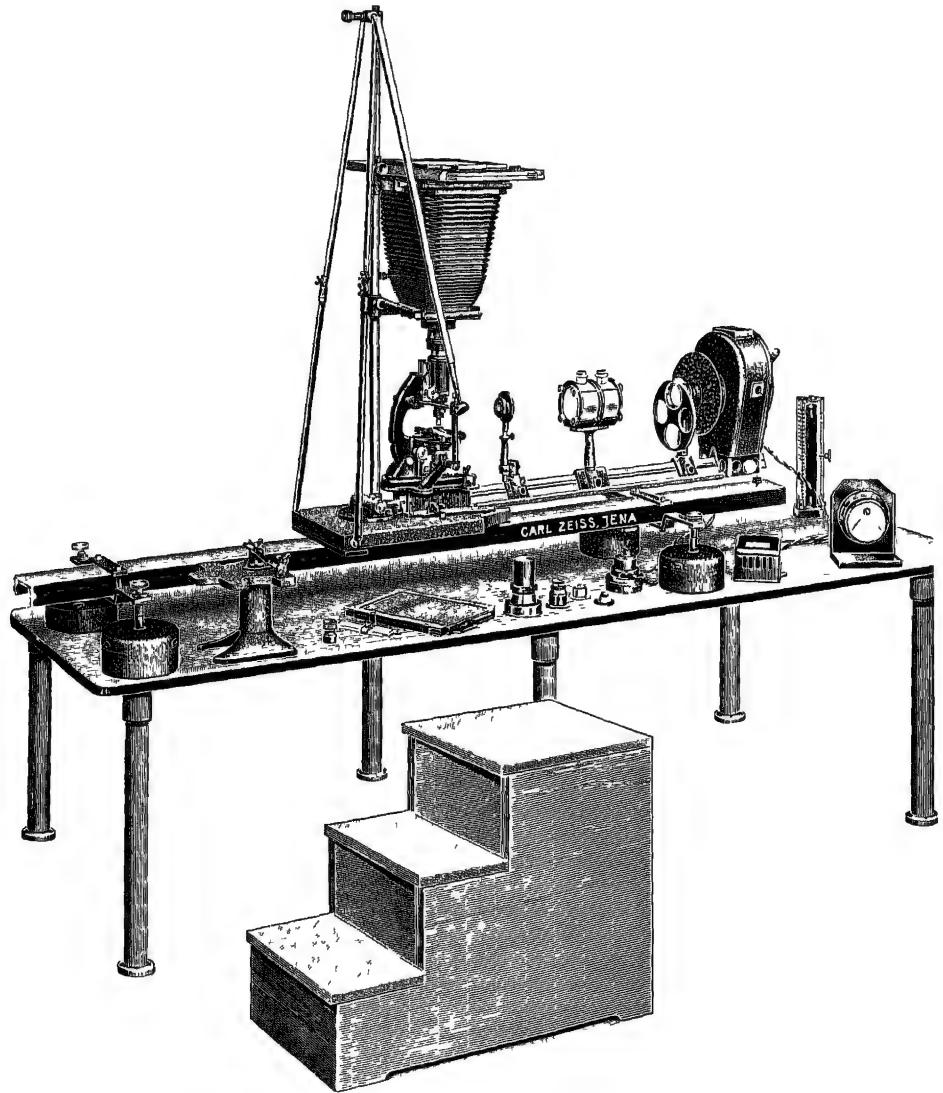


Abb. 71. Die Horizontal-Vertikal Kamera 18/24 der Firma C. ZEISS. (Aus ZEISS Druckschrift Mikro 401)

als die großen Horizontalkammern (etwa 80—95 cm). Der Unterschied ist jedoch im allgemeinen nicht wesentlich und spielt nur dann eine gewisse Rolle, wenn man die Bildfläche großer Platten ( $24 \times 30$ ) vollständig ausnutzen soll. Auch der bewährte Grundsatz, das Kameragestell vom Tischgestell zu trennen, bleibt einer bequemeren Handhabung zuliebe unberücksichtigt, dafür wird aber die Einrichtung durch Federung des Tischgestells um so sorgfältiger vor Erschütterungen bewahrt.

Die Horizontal-Vertikal-Apparate sind ihrem Wesen nach eher umlegbare Vertikalkammern als aufstellbare Horizontalkammern und werden auch zumeist in senkrechter Anordnung benutzt. Der Unterschied den kleinen Vertikalkammern gegenüber besteht nur darin, daß man das Kameragestell umlegen kann, und daß man eine größere Kamera zur Verfügung hat, welche die Verwendung von Plattenformen bis  $13 \times 18$  (REICHERT),  $18 \times 24$  (ZEISS) oder  $24 \times 24$  (LEITZ) gestattet. Die Länge der Laufstange und des Kameragestells richtet sich nach der Größe der Kamera. Sonst unterscheidet sich die Ausrüstung und Handhabung von derjenigen einer großen Horizontalkamera kaum. Als typisches Beispiel eines solchen Apparates zeigt die Abb 71 die Horizontal-Vertikal-Kamera der Firma ZEISS. Man sieht im Bild das Kameragestell, bestehend aus der Laufstange und zwei Streben, welche fernrohrartig ausziehbar sind und zur Festigung

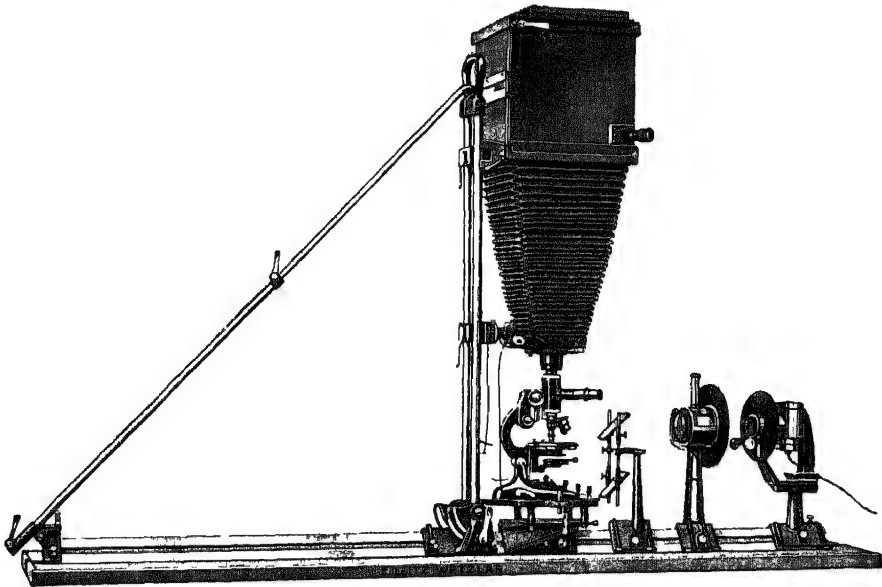


Abb 72 Großer mikrophotographischer Apparat „Uma“ der Firma F. LEITZ in senkrechter Stellung  
(Aus LEITZ Druckschrift Liste Nr 50)

des Kameragestells bei vertikaler Anordnung dienen. Gegen Erschütterungen von unten her bieten die vier Untersätze mit Stoßfedern, auf denen das Kameragestell und die optische Bank stehen, eine vollkommen ausreichende Sicherung. Für bequemere subjektive Beobachtung kann das ganze Kameragestell aus der senkrechten Stellung etwas nach hinten gekippt werden.

b) Der große mikrophotographische Apparat der Firma LEITZ (Abb 72 u 73) ist ebenfalls als Horizontal-Vertikal-Kamera gebaut (vgl. M. BERKE [3]). Wir wollen uns hier mit diesem Apparat etwas eingehender befassen, da er von den großen Apparaten der Firma ZEISS in manchen Punkten abweicht und ebenso wie diese zu den technisch vollkommensten Apparaten der Mikrophotographie gehört. Die Einrichtung ist auf einem etwa 2 m langen Tisch mit eigenem durch Stellschrauben nivellier- und fixierbarem Gestell untergebracht. Die Längsachse des Tisches ist wie bei der Horizontal-Vertikal-Kamera der Firma ZEISS von der gemeinsamen optischen Bank (Dreikantschiene) gebildet, auf welcher sowohl die Beleuchtungseinrichtung mit dem Mikroskop als das umstellbare Kameragestell untergebracht sind. Durch eine sinnreiche Konstruktion läßt sich nun

die ganze optische Bank von der Tischplatte losen und bei Betätigung eines Hebels hochstellen, so daß sie dann auf einer Schwingvorrichtung ruht, welche einen weitgehenden Schutz vor Erschütterungen gewährt. Die große Kamera für Platten bis  $24 \times 24$  ist aus zwei Teilen aufgebaut, aus einem hinteren quadratischen und einem vorderen konischen Teil. Der vordere Teil hat die übliche Form einer großen Balgkamera mit einer maximalen Balglang von etwa 70 cm. Für beide Teile bildet die Einstellebene ein vollkommen weißer Schirm, der auf einem Schlitten am hinteren Ende der Gleitschiene aufgestellt wird. Die Schirmfläche ist der Lichtquelle (bzw. dem Mikroskop) zu gekehrt, so daß man das projizierte Bild, beim Mikroskop stehend, gut beobachten kann. Das Stürnbrett, welches mit einem automatischen Verschluss für Zeit- und Momentaufnahmen ausgerüstet ist und auch eine seitliche Einblicköffnung zur Prüfung der Einstellung aufweist, wird mit Zahn und Trieb der optischen Achse entlang geschoben. Der lichtdichte Anschluß wird mit Stützer und Lichtschutzmanschette in der schon bekannten Weise erzielt. Der hintere Teil der Kamera stellt einen Ansatzkasten mit festen Wänden dar, der aus Reitern vor- und zurückgeschoben werden kann, je nachdem, ob man die Balglang durch Anschluß mit dem Ansatzkasten verlängern will oder nicht. Mit dem Ansatzkasten zusammen läßt sich ein Kameraauszug von etwa 95 cm Länge erreichen. Der Ansatzkasten ist nach den Grundsätzen einer Spiegelreflexkamera ausgerüstet und gestattet daher die Prüfung der Einstellung durch eine in der vorderen oberen Ecke des Kastens aufgesetzte Fernrohrlupe bis zum Moment der Belichtung. Diese seitliche Beobachtung hat viele und wesentliche Vorteile und gestaltet die Arbeit mit dem großen LEITZschen Apparat recht bequem. Man kann zunächst das Mattscheibenbild bis zum Augenblick der Aufnahme beobachten. Dann bietet die Fernrohrlupe dieselben Vorteile wie die Einstelllupen ohne die Nachteile des Suchens auf einer Spiegelglasscheibe. Schließlich ist die Entfernung zwischen der Fernrohrlupe und dem Mikroskopstativ kurz genug, um bei der Einstellung die Mikrometerschraube des Mikroskops mit der Hand betätigen zu können. Gewöhnlich wird man also ohne Feineinstellung arbeiten und die Feineinstellung nur in den seltenen Fällen verwenden, wo der Kameraauszug sehr lang ist. Der Mechanismus der Feineinstellung (des HOOKESchen Schlüssels) ist derselbe wie bei den ZEISSschen Apparaten. Auch was die mikroskopisch-optische Ausrüstung und die Beleuchtungseinrichtung anbelangt, ist kein grundsätzlicher Unterschied zwischen diesem und dem früher geschilderten großen ZEISSschen Apparat (s. S. 153 ff.). In Einzelheiten unterscheidet sich verständlicherweise die Ausrüstung der optischen Bank von der des großen ZEISSschen Apparates (Lampe, Spezialkollimator, Fußplatte des Mikroskops usw.). Dazu findet man die gewünschten Auskünfte in der Druckschrift Nr. 49 G der Firma LEITZ. Hier seien nur zwei besondere Einrichtungen erwähnt, die sind ein Hilfstubus auf dem Mikroskopstativ, der die Kontrolle des Gegenstandes in der Einstellebene des Mikroskops gestattet, und eine Spiegelkonstruktion, mit welcher das Licht bei senkrecht gestelltem Stativ in die Öffnung des Kondensors eingespiegelt wird. Der Hilfstubus (s. Abb. 2) hat die Bedeutung, daß man das eingestellte Gesichtsfeld ständig subjektiv beobachten kann trotz lichtdichter Verbindung mit der Kamera. Man kann also das Bild, das photographiert werden soll, an drei Stellen ständig kontrollieren: 1. im Hilfstubus das Bild in der Einstellebene des Mikroskops, 2. durch die seitliche Öffnung am Objektivbrett das Bild in der Größe des Plattenformats und 3. schließlich mit der Fernrohrlupe das Bild in der Einstellebene des Ansatzkastens. Mit einer recht einfachen Vorrichtung kann man den Hilfstubus je nach Bedarf in den Strahlengang einschalten.

oder ausschalten. Beim Einstellen auf den Schirm wird natürlich der Hilfstubus ausgeschaltet.

Das Spiegelsystem kommt bei senkrechter Stellung des Mikroskops zur Anwendung und erspart also das Wechseln der Fußplatte beim Aufrichten des Stativs.

Der Übergang aus der horizontalen in die vertikale Anordnung der Kamera erfolgt durch ein starkes Gelenk, das mit dem Reiter, welcher das ganze Kameragestell trägt, fest verbunden ist. Zur Führung der Kamera dienen zwei Gleitschienen, die bei der senkrechten Stellung der Kamera mit einer Strebe unterstützt werden.

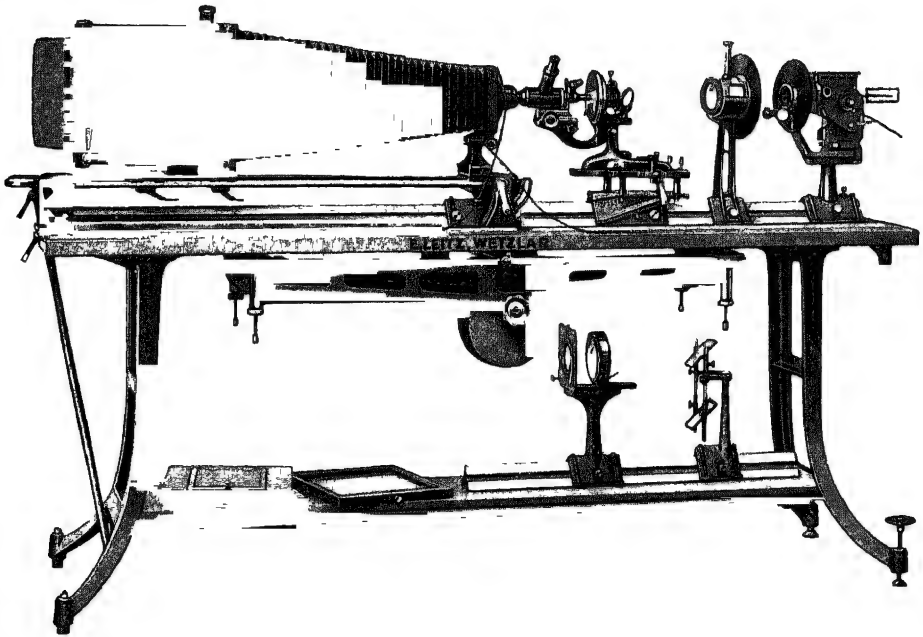


Abb. 73. Großer mikrophotographischer Apparat „Uma“ der Firma L. LEITZ in waagerechter Stellung (Aus LEITZ-Druckschrift Liste Nr. 50)

c) Ein drittes Beispiel der großen mikrophotographischen Apparate bietet der Universalapparat (Kam. N) der Firma REICHERT (vgl. E. WYCHGRAM [1]). Wie aus der Abb. 74 ersichtlich, gestaltet sich die Konstruktion sowohl des Kamera- wie des Tischgestells bedeutend einfacher als bei den bisher beschriebenen Apparaten. Die optische Bank ist kürzer als sonst bei den großen Apparaten, was teils damit zusammenhängt, daß alle wesentlichen Teile der Beleuchtungseinrichtung (außer der am Mikroskop selbst befindlichen) auf einem dreiarmligen Gestell untergebracht sind (Kollektor, Kollektorblende, Kuvette, Periskopspiegel<sup>1</sup>), teils aber damit, daß der Kameraauszug kürzer ist. Die REICHERT'sche Universalkamera ist nämlich nur für Plattengrößen bis  $13 \times 18$  verwendbar, und dementsprechend beträgt auch die größte Balglänge nur etwa 80 cm. Der Apparat stellt also eigentlich eine Übergangsform dar zwischen den großen Apparaten und der Vertikalkamera nach ROMETS.

<sup>1</sup> Eine Doppelspiegelkonstruktion mit einem in geneigter Stellung fixierten und einem beweglichen Spiegel. Sie dient bei waagerechtem Stativ zur Zentrierung des Strahlenganges statt der Zentrallinsen. Bei senkrechtem Stativ hat sie dieselbe Bedeutung wie das Spiegelsystem von LEITZ (vgl. R. SCHMIDT [1]).

Da die ganze Einrichtung auf jede beliebige genügend feste Unterlage aufgestellt werden kann und die Balglange nicht allzu lang ist, kann man den REICHER'schen Apparat auf einem niedrigeren Tisch unterbringen und bei senkrechter Anordnung auch ohne Treppen benutzen. Zum ZEISS'schen Apparat wird die Treppe mitgeliefert, beim LEITZ'schen Apparat wiederum gestattet die Fernrohrlupe aus der normalen Sehhohe eine bequeme Beobachtung der Einstellleben.

Unter den Horizontal-Vertikal-Apparaten seien noch beispielshalber angeführt die sehr handliche kleine Horizontal-Vertikal-Kamera von der Firma WINKEL, Göttingen (vgl. PROELL [I]), die mit einer kleinen Kohlenboger

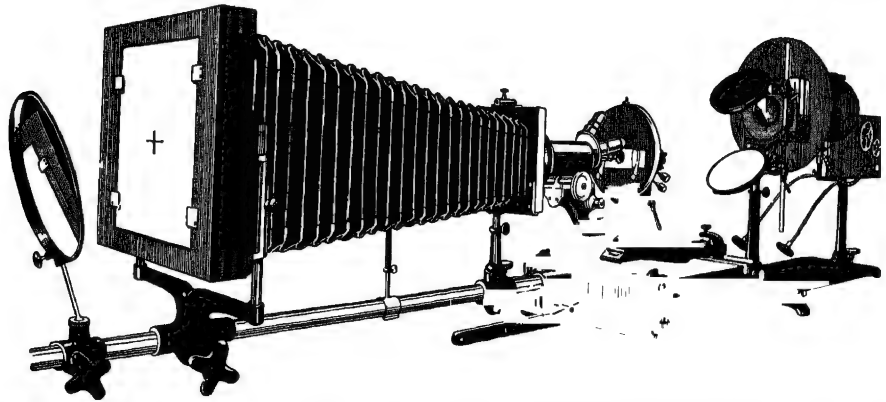


Abb 74 Mikrophotographischer Universalapparat Kam N der Firma C. REICHERT in horizontaler Anordnung (Aus REICHERT Druckschrift Mikro 114d)

lampe ausgerüstet ist, und der große Apparat der Firma C. BAKER, London, der durch eine besonders gut gefederte, schwingungsfreie Konstruktion aus gezeichnet ist.

## XV. Die Aufsatzkammern.

66. Allgemeines. Bei allen ihren Vorzügen sind die großen Apparate nicht dafür geeignet, daß man mit ihnen während der mikroskopischen Untersuchung Aufnahmen anfertigt. Bei den großen Apparaten müssen vielmehr die Forschungsergebnisse in Form von geeigneten Präparaten schon fertig vorliegen, und der Forscher muß für kürzere oder längere Zeit seine mikroskopischen Untersuchungen unterbrechen, wenn er die Lichtbilder mit einem großen Apparat, der in der Regel in einem besonderen Raum aufgestellt ist, anfertigen will. Mit den kleinen Vertikalkammern in der Form, wie wir sie z. B. bei dem ROMEIS'schen oder dem HEGENERS'schen Apparat kennengelernt haben, hat man schon bessere Bedingungen, um im Laufe der mikroskopischen Untersuchung Aufnahmen zu machen. Auch bei diesen kann jedoch das mikroskopische Gesichtsfeld nur bis zum Augenblick der Belichtung beobachtet werden und nicht mehr während der Aufnahme, wie das für die Momentaufnahmen am vorteilhaftesten ist (s. S. 344). Diese Möglichkeit einer Dauerbeobachtung des mikroskopischen Bildes auch während der Aufnahme hat man nur bei den Aufsatzkammern, die mit einer Fernrohrlupe ausgerüstet sind (der seitlichen Beobachtung).

a) Spiegelreflexkameras für Momentmikrophotographie. Über die Versuche von NACHET im Jahre 1886, der zu Momentaufnahmen und der dafür erforderlichen Dauerbeobachtung des mikroskopischen Gesichtsfeldes eine eigene Einrichtung gebaut hat, wurde schon auf S. 5 berichtet. In den Jahrzehnten

um die Jahrhundertwende hat man in der Hauptsache bei Verwendung von Spiegelreflexkameras versucht, geeignete Apparate für die Momentmikrophotographie zu schaffen und hat tatsächlich einige solche gebaut, welche auch heute noch einwandfreie Momentaufnahmen zu liefern vermögen (z. B. die von SCHEFFER angegebene Kamera bei A. STEGMANN, Berlin, die Mikroreflexkamera der Firma GOLTZ & BREUTMANN, Dresden, die von den optischen Werken C. REICHERT, Wien, und NETTEL, Sontheim a. Neckar, 1913 gemeinsam gebaute Spiegelreflexkamera, die Doppelkamera von VOIGTLANDER & SOHN A.-G., Braunschweig, usw.) Keiner von diesen Apparaten konnte jedoch eine allgemeinere Verbreitung finden. Erst mit der Einführung der Aufsatzkamern in der Form, wie sie beim photographischen Okular „Phoku“ der Firma ZEISS nach den Angaben von H. SIEDENTOPF verwirklicht wurde (1922), haben sich die Aufsatzkamern in der mikrophotographischen Praxis tatsächlich eingebürgert und eine allgemeine Verwendung gefunden. Ihre Beliebtheit verdanken sie 1. der handlichen Form, welche die Aufstellung der mikrophotographischen Einrichtung ungemein vereinfacht (dem Prinzip des Aufsetzens), 2. der kleinen Plattenform, für die sie gebaut sind und bei der an die Stärke der Beleuchtung keine besonderen Forderungen gestellt werden, und 3. der seitlichen Beobachtung, welche die ständige Kontrolle des mikroskopischen Bildes ermöglicht (dem Prinzip des photographischen Okulars). Jeder einzelne dieser Vorteile war oder ist in früheren und jetzigen Formen von kleinen Vertikal-kammern schon zu finden gewesen, alle drei harmonisch vereinigt hat man jedoch erst mit den Aufsatzkamern erhalten, von denen hier erst das „Phoku“ beschrieben werden soll.

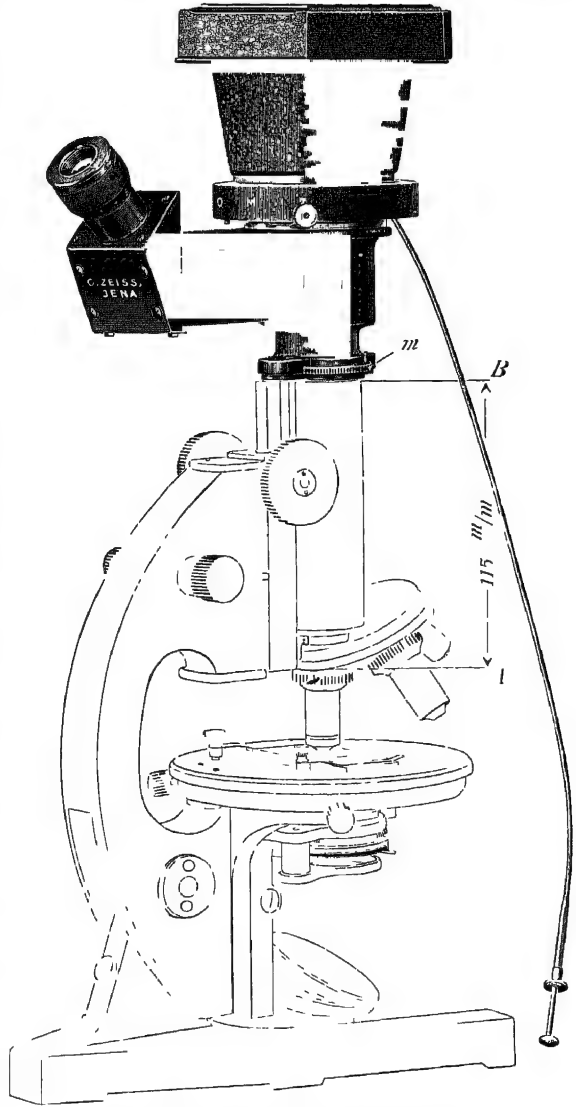


Abb. 75. Das „Phoku“ der Firma C. ZEISS.  
(Aus ZEISS Druckschrift „Mikro“ 373.)

**67. Das „Phoku“** (Abb. 75). Der Apparat besteht aus der kleinen Kamera für das Plattenformat  $4\frac{1}{2} \times 6$  und aus einem Aufsatzstück, das den waagerechten Tubus

fur die seitliche Beobachtung enth<lt und eine kurzere Hulse zur Unterbringung der Homale und zur Befestigung an dem Mikroskoptubus. Zwischen dem Beobachtungsrohr und der Hulse ist in einem eigenen Gehause das Prisma untergebracht, welches mit einer halb durchlassigen und halb reflektierenden Silberschicht versehen ist. Der gröste Teil des vom Objektiv kommenden Lichts (etwa 85%) wird durch die Silberschicht in die Kamera durchgelassen, der kleinere Teil in das Beobachtungsrohr abgelenkt. Zwischen Prisma und Kamera ist der Verschluss f&ur Zeit- und Momentaufnahmen untergebracht. Der Apparat kann nur mit Homalen benutzt werden, die man in die Hulse einschraubt. Die feste Verbindung mit dem Mikroskopstativ erzielt man so, da&ss man das Auszugsrohr (den inneren Tubus) des Stativs entfernt und die Hulse des „Phoku“ mit einem Schlu&ssringes in den &uau;eren Mikroskoptubus einschraubt. (Achtung: da&ss der Apparat beim Einsetzen der Hulse gerade gehalten wird und der Schlu&ssring in das Gewinde des Tubus glatt hineinpa&sst!) Die Verbindung zwischen „Phoku“ und Mikroskop mu&ss ganz fest sein. Ist die Hulse nicht bis zum Anschlag der Schraube in das Mikroskop eingeschraubt, so erh<lt man keine scharfe Abbildung auf der Platte.

a) Die scharfe Einstellung bei seitlicher Beobachtung. Wir haben so beim aufgesetzten „Phoku“ ein optisches System vor uns, wo der Strahlengang durch das Prisma nach zwei Richtungen gesandt wird und dementsprechend zwei Bilder liefert, ein lichtstarkes Bild nach oben auf die photographische Platte und ein zweites lichtschwacheres, nur subjektiv sichtbares Bild zum Ende des Beobachtungsrohrs. Die zwei Bilder m&ussen jedes f&ur sich zur Einstellenebene des Mikroskops genau konjugiert sein. Die Homale sind dementsprechend im Tubus so untergebracht, da&ss das vom Objektiv gelieferte Zwischenbild gerade in dem f&ur die Homale berechneten Abstand (erheblich hinter dem Brennpunkt der Homale) entsteht. Daf&ur mu&ss aber die optische Tubuslange genau 115 mm betragen<sup>1</sup>. Ist der Abstand zwischen dem Schraubengewinde des Objektivs und dem Schlu&ssring des „Phoku“ kleiner (z. B. bei kleineren Stativen), so kann durch Zwischenringe daf&ur gesorgt werden, da&ss die vorstufensma&ssige optische Tubuslange mit 115 mm (bzw. mit 101 mm) herbeigef&uhrt wird.

Die scharfe Einstellung des subjektiven Bildes im Beobachtungsrohr erfolgt mit Hilfe einer Fernrohrlupe und einer im Beobachtungsrohr befindlichen Strahlplatte. Dabei ist zunachst zu bemerken, da&ss das Beobachtungsrohr an seinem freien Ende mit einer Prismenkonstruktion ausger&ustet ist, die das zu beobachtende Bild nach oben in eine starke Lupe von etwa 20facher Vergr&o;sserung wirft. Dadurch wird erstens die M&oglichkeit geboten, das mikroskopische Bild bequem, sitzend, zu beobachten, zweitens aber sieht man das Bild bei subjektiver Beobachtung etwa viermal starker vergr&o;ssert, als es auf der Platte gebildet wird. Stellt man also das Bild scharf ein, so erreicht man ungef&ahr dasselbe wie bei einer scharfen Einstellung mit der Einstelllupe auf der Spiegelscheibe, nur ist nat&urlich die Einstellung bedeutend bequemer und sicher. Das subjektiv scharf empfundene Bild erscheint dann auf der Platte in einem kleineren Format d&erart scharf, da&ss es selbst bei einer nachtraglichen zweifachen (linearen) Vergr&o;sserung mit einem Vergr&o;sserungsapparat von sehr geringer Scharfe nichts einbu&ssen wird (s. Abb. 76). Die Voraussetzung f&ur die scharfe Einstellung auf der Platte ist vor allem, da&ss, wie schon fr&uher bemerkt, die Einstellenebene der Kamera und das Schlu&ssbild der Fernrohrlupe in einem gleichem Verh<ltnis zur Einstellenebene des Mikroskops beide genau konjugiert sind. Die L&angen der Kamera und des Beobachtungsrohrs sind daher aufeinander ab-

<sup>1</sup> Bei den neueren Stativen der Firma ZEISS D und E ist sie auf 101 mm verringert worden. Die mechanische Tubuslange mit aufgesetztem „Phoku“ betragt 230 mm.

justiert Man kann aus diesem Grunde das Beobachtungsrohr nur mit einer dazu gehörigen Kamera benutzen Da jedoch bei der Feineinstellung auch die Unterschiede in der Sehweite des Beobachters berücksichtigt werden müssen, muß noch eine Vorrichtung vorhanden sein, welche diesem subjektiven Moment Rechnung trägt Die Fernrohllupe ist daher mit einer drehbaren Fassung versehen und kann damit der Strichplatte (welche natürlich nur bei der subjektiven Betrachtung sichtbar ist) etwas genähert oder von dieser etwas entfernt werden Man muß also zunächst die Einstellupe zum Auge des Beobachters so einstellen, daß man die Teilstriche vollkommen scharf sieht

Diese Einstellung erfolgt, bevor man das „Phoku“ aufsetzt Man wendet die Hülse (ohne Homale) dem Licht zu und dreht an der Fassung der Lupe so weit, bis die Linien der Strichplatte scharf und schwarz erscheinen Verschwommene, blasse oder doppelt erscheinende Linien sind Zeichen einer falschen Einstellung Hat man die Fernrohllupe für die subjektive Beobachtung scharf eingestellt, so kann man sie dann ständig in dieser Stellung belassen oder, falls der Apparat von mehreren Beobachtern benutzt wird, die für eine bestimmte Person gültige Einstellung an der Fassung der Fernrohllupe anmerken

b) Die Wahl der Bildvergrößerung, die man mit dem „Phoku“ erzielen kann, ist durch die Homale und durch die gleichbleibende kleine Kameralänge wesentlich eingeschränkt Es werden zwar zwei Homale dem Apparat beigegeben, eines für schwache (*L*) und eines für starke Objektive (*H*) Dieser Unterschied bezieht sich jedoch nur auf die Korrektur der Sehfeldkrümmung, die je nach der Stärke des Objektivs anders erfolgen muß (s S 44), und nicht auf die Einzelvergrößerung der Homale Diese ist bei beiden Homalen etwa 5fach oder, mit anderen Worten, das mikroskopische Bild, das man in der Einstellenebene des „Phoku“ erhält, ist etwa so vergrößert, wie wenn stets ein Okular mit 5facher Vergrößerung (bei 160 mm Tubuslänge) eingesetzt wäre

Das kleine Bildformat, das man mit dem „Phoku“ erhält, hat manche Vorteile und auch manche Nachteile Um dies beurteilen zu können, darf man nicht vergessen, daß der Apparat in erster Reihe für Momentaufnahmen von beweglichen Objekten bestimmt ist, und dafür bietet das kleine Bildformat den großen Vorteil, daß man kein allzu intensives Licht zur Belichtung benötigt (s S 349) Man braucht also weder große Beleuchtungsapparate, wie sie sonst zu Momentaufnahmen bei größeren Platten erforderlich sind, noch müssen die gegen eine starke Bestrahlung meistens sehr empfindlichen Objekte einer solchen schädlichen Wirkung ausgesetzt werden Wird wiederum das „Phoku“ als ständiger Nebenapparat der mikroskopischen Untersuchungen zur Registrierung der Befunde angewandt, so sind alsdann die billigen kleinen Platten recht ökonomisch Besonders bei mikroskopischen Arbeiten an lebenden Objekten oder auf Forschungsgebieten, wo man meistens keine Dauerpräparate anzufertigen pflegt, wird man mit dem „Phoku“ das Tatsachenmaterial ohne große Kosten und bequem in der Form von mikrophotographischen Aufnahmen sammeln können Liegen dann in dem so gesammelten photographischen Material Aufnahmen vor, von denen man stärkere Vergrößerungen wünscht, so kann man sie mit einem Vergrößerungsapparat nachträglich noch vergrößern (Abb 76) Es ist daher zweckmäßig, zum „Phoku“ gleich einen Vergrößerungsapparat anzuschaffen Einen geeigneten Apparat dafür hat R BAECKER (1) beschrieben Wie jedoch schon früher mehrfach erwähnt (s S 123), sind die nachträglich vergrößerten Bilder, was Scharfe und Kontrastwirkung anbelangt, nur selten den Aufnahmen gleichwertig, die man in der gewünschten Vergrößerung gleich auf der Platte erzeugt Man wird daher beim „Phoku“ den Mangel einer großen Bildfläche oft als Nachteil empfinden, namentlich bei Aufnahmen mit schwachen Vergrößerungen Selbstverständlich können Aufnahmen mit den schwachen



anastigmatischen Objektiven (und mit den dazu gehörenden Trichtern) nicht erzielt werden. Man kann jedoch das Homal mit 7 cm Brennweite für die schwächeren Trockensysteme benutzen, wo es eine geringere Vergrößerung und ein größeres Sehfeld liefert. Mit diesem Homal lassen sich dann für die Aufnahme bei schwachen Vergrößerungen günstige Kombinationen herstellen mit den Apochromaten 25 bis 40 mm von WINKEL oder den Achromaten 3-, 5- und 8fach von ZEISS. Von einigen speziellen Fällen abgesehen (Übersichtsaufnahme von lebenden Protistenkulturen) eignet sich jedoch das „Phoku“ weniger für Aufnahmen bei schwachen als für solche bei mittleren und stärksten Vergrößerungen.



Abb 76 Aufnahme mit „Phoku“ (Obj. ZEISS hom Imm 60fach) (Ausstrichpräparat einer Dysenteriebazillenkultur mit Pettenkoferien-Färbung nach GIESSA). Die Aufnahme entspricht den Streifen 10 und 20 der Abb 77 und wurde beim Kopieren linear 2fach vergrößert.

Die Einstellung durch das Beobachtungrohr wird auch in einer anderen Richtung oft als Nachteil empfunden. Dadurch, daß die Feinrohrspindel das Zwischenbild etwa 20fach vergrößert, erblickt der Beobachter das mikroskopische Bild in einer vergrößerten Form, wie er sein Objekt nie oder nur selten zu betrachten pflegt. Der Beobachter wird aber nicht nur die Bildvergrößerung ungewöhnlich stark, manchmal sogar als störend empfinden, sondern er wird auch schwer beurteilen können wie das photographische Bild, d. h. das Bild auf der Platte, vielmal verkleinert wirken wird. Es sei deshalb empfohlen, sich auch eine Mattscheibe zum „Phoku“ anfertigen zu lassen und, namentlich im Anfang, bis man durch Übung den nötigen Blick zur Beurteilung der Vergrößerung an der Platte erworben hat, die Einstellung auch auf die Mattscheibe vorzunehmen. Dann wird man in der Lage sein, durch Auswahl des passenden Objektivs diejenige Vergrößerung auf der Platte zu erzielen, welche sich für den Zweck der Aufnahme am besten eignet. Der Mangel an entsprechenden Okularkombinationen wird trotzdem nie vollkommen wettgemacht, denn gerade bei der Abbildung der feinsten optischen Strukturen, wie Chromosomen, Mitochondrien, Zentriosomen usw., ist die günstige Wirkung des Bildes an ganz bestimmte Vergrößerungen gebunden, die nur durch sorgfältige Wahl der Linsenfolge oder durch den Kammerauszug erreicht werden können. Es soll aber hier wieder

daran erinnert werden, daß das „Phoku“ und alle ähnlichen Aufsatzkammern keine Universalapparate sind. Man wird bei der Verwendbarkeit, die sie bei ihrer einfachen Konstruktion aufweisen, und bei den Bequemlichkeiten, die sie für die Mikrophotographie am Mikroskoptisch bieten, nur leicht dazu verleitet mehr von ihnen zu fordern, als sie zu leisten imstande sind. Sie sind, und das wollen wir uns merken, keine Universalapparate wie die großen Apparate, sondern in erster Reihe Einrichtungen für Momentaufnahmen.

c) Die Beleuchtung und die Belichtungsproben mit dem GOLDBERG'schen Graukeil. Bei dem kleinen Plattenformat und der kurzen Kamera stellt die Aufnahme mit dem „Phoku“ der Beleuchtung gegenüber keine hohen Anforderungen. Man braucht also nicht unbedingt eine Beleuchtungseinrichtung mit einer optischen Bank, sondern man kann eine lichtstarke Mikroskopier-

lampe mit eingebautem Kollektor vor dem Mikroskop auf dem Arbeitstisch aufstellen. Am besten eignen sich dazu die Gleichstrompunktlichtlampen, deren Licht man mit dem dafür besonders geeigneten Lampengestell rasch und genau auf den Spiegel zentrieren kann. Gewöhnliche Mikroskopierlampen mit Glühbirnen, selbst wenn sie eine hohe Wattzahl aufweisen (OSRAM-Nitra-Lampe mit 100 Watt), sind für Aufnahmen mit dem „Phoku“ nicht geeignet. Man kann sie allerdings für Zeitaufnahmen bei entsprechend ausgedehnten Belichtungszeiten zur Not benutzen.

Bedeutende Vorteile hat es, wenn man auch bei Aufnahmen mit dem „Phoku“ oder anderen Aufsatzkammern eine Grundplatte benutzt, welche mit Klemmen und Anschlagleiste für das Mikroskop und einer optischen Bank zur Aufstellung der Lampe, der Kuvette und sonstiger Nebenapparate ausgerüstet ist. Recht gut bewahrt sich dabei die Grundplatte des Apparats von ROMEIS. Ob mit dieser oder einer anderen Grundplatte<sup>1</sup>, stets ist es ratsam, das mit einer Aufsatzkammer ausgerüstete Mikroskop auf eine Unterlage zu stellen, wo es mit Klemmen befestigt werden kann.

Bei der Beleuchtung muß man nur darauf achten, daß das subjektiv beobachtete mikroskopische Bild einwandfrei beleuchtet sei (vgl. S. 75). Dadurch, daß man im Beobachtungsfeld nur etwa 15% der Beleuchtungsstrahlen erhält, hat man kein allzu grelles Bild zur subjektiven Beobachtung. Die Helligkeit des Bildes im Beobachtungsfeld reicht trotzdem auch für die stärksten Vergrößerungen aus, vorausgesetzt, daß die Beleuchtung mit einer lichtstarken Lampe regelrecht erfolgt. Gerade diese knappe Beleuchtung des subjektiv beobachteten Bildes hat die gute Wirkung, daß man gezwungen ist, alle Mittel anzuwenden, um ein für das Auge angenehm helles Sehfeld zu erzeugen. Hat man dieses so weit ausgeleuchtet, wie man es sonst bei mikroskopischen Untersuchungen zu tun pflegt, so hat man auf der Platte das Maximum der erreichbaren Helligkeit. Man darf sich nur nicht mit einem schlecht beleuchteten subjektiven Bild zufrieden geben in der falschen Annahme, daß es so sein muß, da das Prisma zur subjektiven Beobachtung einen geringen Teil der Beleuchtungsstrahlen zuläßt.

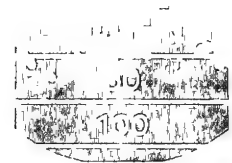


Abb. 77 Probebelichtung mit dem GOLDBERG'schen Graukeil. Linsenfolge und Präparat wie die Abb. 76.

Die Belichtungszeit wird in einfacher Weise mit einem GOLDBERG'schen Keil (Graukeil) bestimmt. Der Graukeil ist zwischen zwei Glasplatten in einer passenden Fassung in 7 Felder geteilt, die mit den Ziffern 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 die Prozentzahl an Licht angeben, welche von dem betreffenden Feld durchgelassen wird. Man setzt also den Graukeil in die Vertiefung unterhalb der Kassette ein und bestimmt die günstige Belichtungszeit mit einer einzigen Belichtung (Abb. 77). Man wählt dazu eine der Vergrößerung, der Lichtquelle und der Plattensorte angemessene maximale Belichtungszeit, am besten ganze oder halbe Minuten. Wenn zulässig, wähle man 100 Sekunden, um die Rechnung in Prozenten zu vereinfachen. Sei nun bei der Belichtung mit einer halben Minute das Bild in dem Feld mit der Ziffer 10 am besten sichtbar, so kann man daraus schließen, daß die günstige Belichtungszeit für die Aufnahme 3 Sekunden bedeutet. Bei der Auswertung der so erhaltenen Belichtungszeiten soll jedoch auch stets der SCHWARZSCHILD'sche Exponent der Plattensorte berücksichtigt werden (s. S. 105), sonst erhält man leicht starke Überbelichtungen. Man muß erst

<sup>1</sup> Auch die Grundplatte eines Mikromanipulators eignet sich gut zu diesem Zweck.

den Logarithmus der mit dem GOLDBERG-Keil gefundenen Zahl mit dem SCHWARZSCHILDSchen Exponenten multiplizieren und dann den dazu gehorenden Numerus aussuchen. Rascher und einfacher laßt sich natürlieh die gesuchte Belichtungszeit mit dem Belichtungsstab ermitteln (s. S. 107). Hat man einmal diese Berechnung der Belichtungszeit mit dem SCHWARZSCHILDSchen Exponenten für die ständig benutzte Plattensorte durchgeführt, so hat man bei Aufnahmen mit derselben Plattensorte stets einen Anhaltspunkt dafür, wieviel kürzer die Belichtungszeit bemessen werden muß, als der GOLDBERGsche Keil sie zeigt. Beträgt z. B. der SCHWARZSCHILDSche Exponent 0,9, so wird man statt 3 Sekunden nur etwa 2 Sekunden lang belichten müssen, bei Platten mit dem SCHWARZSCHILDSchen Exponenten 0,75 sogar nur etwas über 1 Sekunde.

So praktisch und einfach auch das Verfahren mit dem GOLDBERGschen Keil erscheint, hatten ihm dennoch manche Nachteile an, wie die eben geschilderte etwas umständliche Berechnung und dann auch die schon früher erwähnten Schwierigkeiten bei Probeaufnahmen von einzelnen kleinen Objekten in einem großen leeren Sehfeld. So ist es gerade bei den Objekten, die man mit dem „Phoku“ namentlich bei Momentaufnahmen aufzunehmen pflegt, häufig recht schwierig, das Objekt im Feld der günstigsten Belichtung aufzufinden. Denjenigen also, die auf eine genaue Ermittlung der Belichtungszeit durch eine Probeaufnahme Gewicht legen, über einen Belichtungsstab jedoch nicht verfügen oder die rechnerischen Manipulationen mit Logarithmen sich ersparen wollen, sei geraten, zum „Phoku“ ebenso einen Kassettenschieber mit fünf Marken zu versehen, wie das schon bei den Belichtungsproben nach Zeit angegeben wurde (s. S. 95), und die Probeaufnahme in der üblichen Weise mit mehreren Belichtungen zu erzielen. Was nun die Probabelichtung bei einzelnen kleinen Objekten, wie isolierten Zellen, Bakterien usw., anbelangt, kann auch folgende Kunstgriff gute Dienste leisten. Man wählt als Testobjekt Blutzellen (Menschenblut) in physiologischer Lösung, da die Objekte solcher Aufnahmen sich meistens in einem wäßrigen Medium befinden. Bei jeder Vergrößerung erhält man dann das Sehfeld dicht mit gleichförmigen Strukturen bedeckt. Macht man mit diesem Testpräparat eine Probeaufnahme entweder mit dem Graukeil oder mit dem eingeteilten Kassettenschieber, so fallen in jedes Feld Strukturen an, denen man die Belichtung beurteilen kann. Für Momentaufnahmen hat man beim „Phoku“ nur eine einzige kurze Belichtungszeit, die je nachdem, ob man den Auslöser rasch oder langsam betätigt, im Höchstfall  $\frac{1}{90}$ — $\frac{1}{100}$  Sekunde beträgt (A. CERNY [7]). Da man also keine Möglichkeit hat, unter verschiedenen Belichtungszeiten zu wählen, muß man aus einem einzigen Bild beurteilen, ob die Belichtungszeit für die Vergrößerung und bei der vorhandenen Lichtquelle genügt oder zu lange bzw. zu kurz ist. Das läßt sich bei der Probeaufnahme mit dem Blutpräparat tun. Wählbare Objekte in der Größenordnung der Protisten und Gewebezellen gut darstellbar. Für bewegliche Bakterien ist ein anderes Testobjekt vorteilhafter. Lampenruß mit  $\frac{1}{2}$ proz. Gelatine zusammengeschüttelt und dann zwischen Deckglas und Objektträger zu einer dünnen Schicht ausgebreitet (die Rußteilchen zeigen eine lebhaft molekulare Bewegung, solange die Gelatineschicht nicht vollständig erstarrt ist). Erweist sich die Momentbelichtung als zu kurz, so wählt man eben die kürzeste Zeitbelichtung. Schwieriger ist es, wenn die Momentbelichtung sich als zu lang erweist und infolgedessen das Bild überexponiert erscheint. Allerdings wird dieser Fall bei einer Punktlichtlampe und mit dem „Phoku“, wo nur 80% der Beleuchtung auf die photographische Platte fallen, nur selten vorkommen. Hat man aber keine Punktlichtlampe, sondern eine Gleichstrom-Bogenlampe als Lichtquelle, so kann es öfters vorkommen, daß die Momentaufnahmen von Protisten bei schwachen Vergrößerungen mit einer Belichtungszeit von  $\frac{1}{100}$  Sekunde schon überbelichtet sind. Man hilft sich dann so, daß man die Kohlenbogenlampe mit einer Punktlichtlampe austauscht oder etwas mehr Widerstand einschaltet<sup>1</sup>. Bei Momentaufnahmen, wo die rasche Bewegung des Objekts eine sehr kurze Belichtung mit sehr intensivem Licht erfordert (z. B. Momentaufnahmen von lebenden Flammenzellen bei starken Vergrößerungen), muß man selbstverständlich sehr lichtstarke Lampen wählen und nötigenfalls einen Verschluss benutzen, der auch kürzere Belichtungen als  $\frac{1}{100}$  Sekunde gestattet. Man öffnet dann den Verschluss des „Phoku“, stellt vor dem Mikroskopspiegel

<sup>1</sup> Es ließe sich die Belichtungszeit auch aus der Brennweite des Objektivs, der Entfernung des Objekts und der Geschwindigkeit der Bewegung errechnen, wie J. WARA (1) es für die Makromomentphotographie angegeben hat.

einen solchen Verschuß (z. B. einen Kompurverschluß) auf und lost diesen letzteren bei der Belichtung. Für Momentaufnahmen im Dunkelfeld genügt der Verschuß des „Phoku“ für alle Fälle (vgl. auch S. 346).

Vor der endgültigen scharfen Einstellung und der Belichtung achte man besonders darauf, daß die Kassette richtig im Rahmen der Kamera liegt und von den Greifern festgehalten wird (vgl. auch S. 59). Die endgültige Einstellung soll stets nach Öffnen der Kassette erfolgen, da bei der festen Verbindung zwischen Kamera und Mikroskop kleine Verschiebungen nie zu vermeiden sind. Man kontrolliert dann durch die Fernrohrlupe, nachdem die Kassette schon aufgelegt und geöffnet wurde, ob das Präparat sich beim Öffnen der Kassette nicht verschoben oder der Tubus sich nicht etwa gesenkt hat. Die Aufsatzkammern haben ein sehr geringes Gewicht, so daß der Apparat das Stativ nicht wesentlich belastet. Immerhin eignen sich zur Arbeit mit Aufsatzkammern nur Stativ, deren Zahn und Trieb einen festen Gang haben. Besondere Vorteile bieten in dieser Hinsicht die neuen Stativ der Firma ZEISS D, E, F, G, wo der Gang der Grobbewegung regulierbar und ein Senken des Tubus ausgeschlossen ist. Auch bei anderen Stativen, deren Grobbewegung in

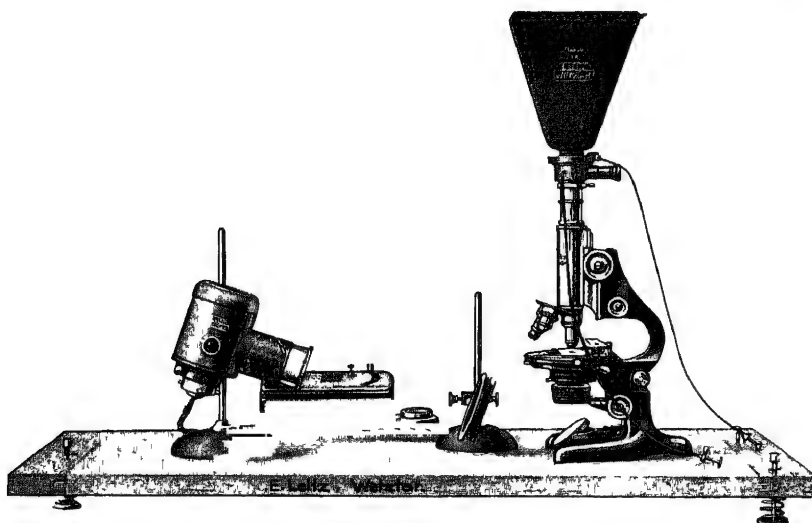


Abb. 78. Aufsatzkammer „Macca“ der Firma E. LEITZ mit Niedervoltlampe und Filterstativ auf Schwingbrett (Aus LEITZ-Druckschrift „Liste Mikrophoto 2329b“)

Ordnung ist, wird ein Senken des mit dem „Phoku“ belasteten Tubus nicht bemerkbar sein. Die feine Einstellung kann jedoch beim Auflegen der Kassetten, namentlich wenn man sie etwas fester andrückt, leicht beeinflußt werden.

**68 Die Aufsatzkammern der Firma LEITZ „Macca“ und „Makam“** (Abb. 78) (vgl. H. HEINE [7]). In der äußeren Form und auch in manchen Zügen der Konstruktion mit dem „Phoku“ übereinstimmend, unterscheiden sich die Aufsatzkammern der Firma LEITZ von dem „Phoku“ grundsätzlich darin, daß sie das mikroskopische Bild, welches durch die Austrittspupille des Mikroskops zugänglich ist, durch eine photographische Linse (ein Teleobjektiv) in der Einstellebene der Kamera abbilden. Das Objektiv der Kamera ist mit einem selbstspannenden Isoverschluß für Zeit- und für Momentaufnahmen (von  $\frac{1}{125}$  bis zu 1 Sek.) ausgerüstet<sup>1</sup>. Der Verschuß wird durch einen Drahtauslöser (Bobenauslöser) wie beim Phoku betätigt, nur muß man acht geben, daß man den

<sup>1</sup> L. O. DUTRON [7] setzt einfach eine Kodak-Box-Kamera mit auf „unendlich“ gestelltem Objektiv auf die Augenlinse des Mikroskops und behauptet, daß die meisten Box-Kameras auch ohne besondere Vorrichtung fest genug auf dem Mikroskop sitzen. Auch besondere Vorrichtungen zur scharfen Einstellung des Mattscheibenbildes seien nicht notwendig.

nichtigen Ausloser benutzt, da auch ein zweiter ähnlicher Ausloser zum Ausschalten des Prismas am Apparat vorhanden ist. Ratsam ist deshalb, bei Momentaufnahmen den automatischen Ausloser zu benutzen, in welchem die einzelnen Ausloser für Prisma und Verschluss vereinigt sind. Im Gegensatz zu allen bisher besprochenen mikrophotographischen Apparaten findet man also hier neben dem Mikroskopobjektiv auch noch ein photographisches Objektiv. Wie schon H. W. VOGEL festgestellt hat, bildet ein solches Objektiv das im „Unendlichen“ entworfene mikroskopische Bild ebenso ab, wenn man die Eintrittspupille des Objektivs mit der Austrittspupille des Mikroskops zusammenbringt wie das auf „Unendlich“ akkommodierte Auge. Infolge dieser Konstruktion können auch HUYGENSSche Okulare bei den Aufnahmen Verwendung finden, wobei an Stelle von Homalen die Sehfeldkrümmung mit periplanatischen Okularen korrigiert wird. Am besten eignet sich dafür das periplanatische Okular 8fach, es lassen sich aber auch stärkere und schwächere Okulare verwenden, wenn auch nicht mit demselben guten Erfolg. Bei schwächeren Okularen wird der Rand des Sehfeldes von den Okularblenden abgeschnitten, bei stärkeren Okularen dagegen wird die Platte nicht genügend ausgenutzt, da man nur den mittleren Teil des subjektiv beobachteten Sehfeldes erhält. Die Auswahl in der Bildvergrößerung ist also auch bei diesen Aufsatzkammern trotz der Möglichkeit, verschiedene Okulare aufzusetzen, nicht bedeutend größer als beim „Phoku“. Statt mit Okularen kann man jedoch die Bildvergrößerung durch Wechseln der Kammer steigern. Die Aufsatzkammer wird nämlich in zwei Größen ausgeführt, und zwar hat man eine kürzere Form für Platten von  $4\frac{1}{2} \times 6$  (Macca) und eine längere Kamera für solche von  $9 \times 12$  (Makam)<sup>1</sup>. Der Länge der Kamera entsprechend rüstet man das kleinere Format mit einem Teleobjektiv von der Brennweite 125, das längere mit einem anderen von der Brennweite 250 mm aus. Auf diese Weise erhält man in der Einstellebene der längeren Kamera (Makam) ein ebenso großes mikroskopisches Bild, wie man es als virtuelles Bild in der deutlichen Sehweite im Mikroskop sehen würde. Mit anderen Worten: Die photographische Vergrößerung entspricht bei Makam, die von der Firma LEITZ für den allgemeinen Gebrauch empfohlen wird, einer Eigenvergrößerung 1fach, bei Macca dagegen  $\frac{1}{2}$  fach. Die Bildfläche, welche man mit der Makam erhält, nutzt das Plattenformat  $9 \times 12$  gerade gut aus. So braucht man für Reproduktionszwecke oder für Diapositive die Aufnahme nachträglich nicht zu vergrößern. Die kleinere Kamera Macca eignet sich hauptsächlich zu Momentaufnahmen.

Die Kamera wird mit Hilfe eines Halteringes an der Fassung der Okulare befestigt und mit diesem in der üblichen Weise in den inneren Tubus des Mikroskops eingesetzt. Oberhalb des Okulars und des Halteringes befindet sich das Prisma mit der halbdurchsichtigen Silberschicht, dessen Funktion die gleiche ist wie beim „Phoku“. Zum Unterschied zum „Phoku“ ist jedoch hier das Prisma ausschaltbar. Mit einem Drahtausloser läßt sich das Prisma für die Zeit der Belichtung ausschalten, so daß die Platte das volle Licht der Belichtung erhält. Namentlich bei Momentaufnahmen und das Ausschalten des Prismas vorteilhaft sein. Die vom Prisma abgelenkten Strahlen werfen ein Bild für die seitliche subjektive Beobachtung in ein kurzes (sogar etwas zu kurzes) Einblickfeinrohr, das genau auf die Plattenebene abgestimmt ist und mit einem drehbaren Okular ausgerüstet ist. Die Einstellung des Okulars wird mit Hilfe eines im Fernrohr befindlichen Fadens ein für allemal der Sehweite des Beobachters angepaßt. Die Länge des Fernrohrs und seine genau waagerechte Stellung

<sup>1</sup> Neuerdings wird auch das „Phoku“ der Firma ZEISS mit einer Kamera für die Plattengröße  $9 \times 12$  geliefert.

gestaltet die seitliche Beobachtung etwas unbequemer als beim „Phoku“. Für längere mikroskopische Untersuchungen eignet sich deshalb ein mit der Macca oder Makam ausgerüstetes Mikroskop weniger als ein solches mit dem „Phoku“. Demgegenüber sei bemerkt, daß das Aufsetzen der Macca oder Makam rascher vor sich geht als das des „Phoku“, da man am Mikroskop nichts ändert und nur das Okular in dem Haltering zu befestigen braucht. Man kann also mit seinem Mikroskop wie gewöhnlich mikroskopieren, und wünscht man irgendwelche photographische Aufnahmen zu machen, so bedeutet das Aufsetzen der LEITZschen Aufsatzkameras kaum mehr Arbeit als das Wechseln des Okulars. Das Einblickfernrohr hat nicht dieselbe Wichtigkeit wie das Beobachtungsrohr am „Phoku“. Die endgültige scharfe Einstellung vor der Aufnahme und die Kontrolle des Bildes während der Aufnahme (insofern das Prisma nicht ausgeschaltet ist) erfolgen natürlich auch hier im Einblickfernrohr. Für die Einstellung von Übersichtsbildern mit schwachen Objektiven (z. B. den LEITZ-Achromaten 1 und 2) eignet sich das Einblickfernrohr nicht. Solche Bilder müssen daher auf einer Mattscheibe eingestellt werden, die zu den Apparaten mitgeliefert wird. Auch hier empfiehlt es sich, namentlich für Anfänger, die Einstellung auch sonst auf der Mattscheibe zu kontrollieren, obwohl bei den LEITZschen Aufsatzkammern kein solcher Unterschied in der Vergrößerung des subjektiv beobachteten und des auf der Platte abgebildeten Bildes besteht wie beim „Phoku“.

Die endgültige scharfe Einstellung und die Belichtung (bzw. Probebelichtung) erfolgt in der gleichen Weise wie beim „Phoku“. Auch die Bemerkungen, die dort bezüglich der Aufstellung des Mikroskops, der Beleuchtung, der Probebelichtungen bei Momentaufnahmen usw. gemacht wurden, haben die gleiche Gültigkeit für die Arbeit mit Macca oder Makam. Bei diesem letzteren muß man aber außerdem noch beachten, daß 1. die Kamera länger ist als das „Phoku“, 2. daß der Apparat in den Mikroskoptubus nur eingesetzt, aber mit diesem nicht fest verbunden ist. Die Sicherheit der Aufstellung ist deshalb geringer als beim „Phoku“, was bei Manipulationen an den Mikroskopschrauben mehr Vorsicht erfordert. Eine einschüttelungsfreie Aufstellung des Mikroskops mit Hilfe geeigneter Fußplatten ist also unbedingt notwendig. Die LEITZschen Aufsatzkammern sind sehr leicht. So wiegt Macca, die etwa die Größe des „Phoku“ hat, ungefähr 300 g (mit gefüllter Kassette), die bedeutend größere Makam 525 g. Trotzdem muß man auch bei diesen Aufsatzkammern auf die Verlässlichkeit der Grobbewegung des Stativs achten und dazu noch ein besonderes Augenmerk dem inneren Tubus zuwenden. Begreiflicherweise darf dieser Tubus nicht zu leicht gehen, da er das Gewicht des Apparats unmittelbar trägt. Rat-sam ist es, auf jeden Fall das Auszugsrohr mit einem Gummiring zu versehen (von der Firma mitgeliefert), denn sonst kann selbst dort, wo der Auszug fest genug ist, beim Auflegen oder Öffnen der Kassette eine Änderung in der Tubuslänge hervorgerufen werden.

**69. Die Mikrokammern nach CERNY (Abb. 79 u. 80).** Eine Zwischenstufe zwischen dem „Phoku“ und den Aufsatzkammern der Firma LEITZ stellt die Mikrokamera „Mipon“ oder „Mihio“ der Firma REICHERT (nach CERNY) dar. Mit dem Makam hat sie das größere Format der Aufsatzkammern (für Platten 9 · 12) gemeinsam<sup>1</sup> und die Art der Befestigung in dem inneren Tubus des Mikroskops durch das Okular. Diese Befestigung erfolgt jedoch durch einen Klemmung und ist deshalb so stabil wie beim „Phoku“. Der wesentliche Unterschied der Makam gegenüber besteht darin, daß die Kamera nicht mit einem photogra-

<sup>1</sup> Sie wird in einer neuen Ausführung auch mit einer Kamera für 4 1/2 · 6 Platten geliefert.

phischen Objektiv ausgerüstet ist, das Bild also unmittelbar aus der Austrittspupille des Okulars durch die halbdurchlässige Silberschicht in die Einstelebene der Kamera fällt. Als Okulare werden sog Zeiger-Doppel-Okulare — ein schwächeres und ein stärkeres — den Apparaten beigegeben, die wie sonst die Zeiger-Doppel-Okulare mit einem etwas schrag gestellten Beobachtungsrohr und einem Prisma ausgerüstet sind. Entfernt man den Kammeraufsatz, so können diese Bestandteile der REICHERTSchen Mikrokammern auch selbständig zu Demonstrationen benutzt werden. Bei der Aufnahme muß man allerdings aufpassen, daß

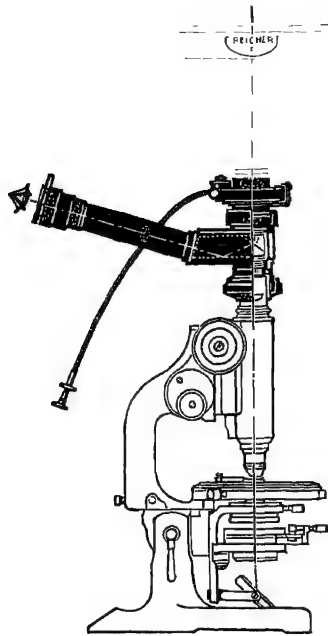


Abb 79 Aufsatzkammer der Firma C. REICHERT nach CERNY Schematischer Durchchnitt (Aus REICHERT-Druck schrift Mikro 114d)

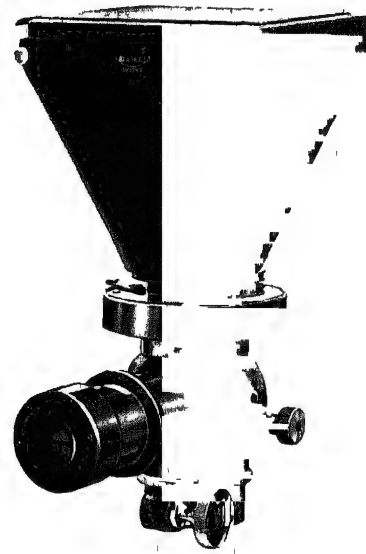


Abb 80 Aufsatzkammer der Firma C. REICHERT Neue Ausführung mit einer kleinen Kamera

man den Zeiger aus dem Gesichtsfeld rechtzeitig entfernt. Oberhalb des Prismas befindet sich auch hier der Zeit- und Momentverschluß, der Momentaufnahmen bis zu einer Belichtungszeit von  $\frac{1}{100}$  Sek. (oder nach besonderen Wünschen auch bis  $\frac{1}{250}$  Sek.) gestattet. Die Handhabung der Kamera unterscheidet sich sonst von der der früher geschilderten Aufsatzkammern nicht.

**70. Die Mikrokamera der Firma E. Busch.** Schließlich wollen wir hier noch die aufsetzbare Mikrokamera der Firma Busch, Rathenow, erwähnen (Abb 81), die in ihren wesentlichen Zügen nach denselben Grundsätzen aufgebaut ist wie die Aufsatzkammern der Firma LEITZ, in manchen Einzelheiten jedoch recht praktische Neuerungen aufweist. Vor allem hat sie unter allen Aufsatzkammern die passendste Größe, nämlich für die Plattenform  $6,5 \times 9$ . Sie gestattet also Aufnahmen mit einer größeren Bildfläche als das Phokli oder die Macca und ist dabei doch handlicher als die größeren Kammer (Makam oder die Mikro-

kamera von REICHERT) Ihre Befestigung an dem inneren Tubus erfolgt mit einer Klemmschraube. Wie bei den Aufsatzkammern der Firma LEITZ wird das vom Mikroskop geheferte Bild durch ein photographisches Objektiv (Brennweite 125 mm, Eigenvergrößerung  $\frac{1}{2}$  fach) in der Einstellebene der Kamera abgebildet. Die seitliche Beobachtung mit fest eingesetztem Prisma und Fernrohrlupe entspricht der LEITZschen Konstruktion, nur ist das Beobachtungsrohr etwas länger und daher auch bequemer. Die Kamera kann mit allen Okularen verwendet werden, am besten eignen sich jedoch nach Angabe der Firma die nach Art der periplanatischen Okulare hergestellten Eb- nungsokulare der Firma BUSCH. Der Verschluß (für Zeit- und für Moment- aufnahmen) gestattet Momentbelichtungen bis zu  $\frac{1}{100}$  Sekunde.

**71. Die Mikrokamera mit dem „Mikro- phot“.** Einen grundsätzlichen Unterschied finden wir zwischen all den bisher betrach- teten Formen der Aufsatzkammern und der mikrophotographischen Ein- richtung der ZEISS-Ikon-A-G. Bei die- sem Apparat (Abb. 82 u. 83) ist das Beob- achtungsrohr in geradliniger Fortsetzung dem Mikroskoptubus aufgesetzt, während die Kamera auf einem eigenen Gestell seitlich aufgestellt ist. Das obere Ende des auf den inneren Tubus des Mikro- skops aufklemmbaren Aufsatzrohrs „Mi- krophot“ ist mit einem Okular zur sub- jektiven Beobachtung ausgerüstet, das wie beim „Phoku“ dem Auge des Beobachters angepaßt werden muß, wobei man auf eine im Fernrohr befindliche, mit Marken ver- sehene Scheibe scharf einstellt, und zwar jedesmal auf bestimmte Marken, die der Größe der Platten entsprechen. Das Bild in der Einstellebene der Balgkamera ist nur dann scharf eingestellt, wenn die der Plattenform entsprechenden Marken sub- jektiv scharf sichtbar sind. Wie bei den Aufsatzkammern, besorgt auch hier ein teils durchlassiges, teils reflektierendes Prisma die Teilung des Strahlenganges, wobei aber hier der kleinere Teil in gerad- liniger Fortsetzung in das Fernrohr durchgelassen, der größere Teil aber durch ein seitlich angebrachtes Fensterchen in die Öffnung der Kamera gelenkt wird. Die seitliche Öffnung des „Mikrophot“ und das Stinbrett der Kamera werden mit einem lichtdichten Anschluß besonderer Konstruktion verbunden (Abb. 83).

Als Kamera kann jede photographische Kammer mit Balgauszug benutzt werden, nur darf man sie nicht auf ein gewöhnliches photographisches Stativ sondern auf ein solides, der Länge des Mikroskops angepaßtes Gestell befestigen. Das Stinbrett der Kamera muß auf jeden Fall mit der schon erwähnten An- schlußvorrichtung ausgerüstet werden. Das zweckmäßigste ist, für die Auf-

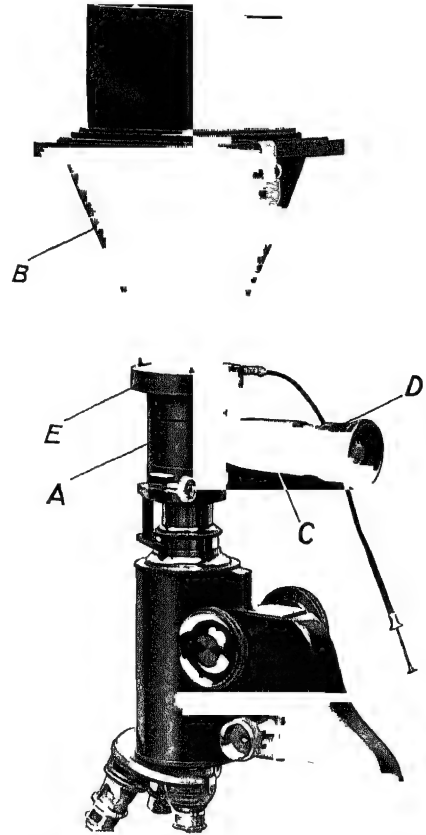


Abb. 81. Die Aufsatzkammer der Firma I. Busch A-G. (Aus Busch-Druckschrift Dr. 25.)

E = Zwischenstück mit Prisma und Klemm- vorrichtung. B = Kamera. C = Endobjektiv. D = Fernrohrlupe. F = Verschlußvorrichtung.



nahmen diejenige Kamera zu benutzen, welche von der erzeugenden Firma mit dem „Mikrophot“ zusammen geliefert wird. Diese Kamera kann dann bis zu der Plattengröße  $9 \times 12$  benutzt werden.

Das Bild, welches, vom Prisma in die Kamera geworfen, auf der Mattscheibenebene entsteht, ist das mikroskopische Bild, welches von den Linsen des Mikroskops geliefert wird. Es liegen daher dieselben optischen Bedingungen zur photographischen Abbildung des mikroskopischen Bildes vor wie bei den LEITZschen und REICHERTschen Aufsatzkammern oder bei der Mikrokamera von BUSCH. Man muß nur den „Mikrophot“ in seinem Ganzen so weit heben oder senken, bis die Austrittspupille des Mikroskops in die

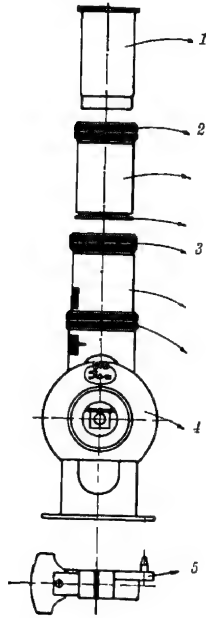


Abb 82 „Mikrophot“  
Schema

1 = Beobachtungsokular,  
2 = Oberteil des Mikrophot mit der Gesichtsfeldblende (bei 3)  
3 = Glaswürfel mit versilberten Flächen  
4 = Klemmung zur Befestigung am Mikroskop

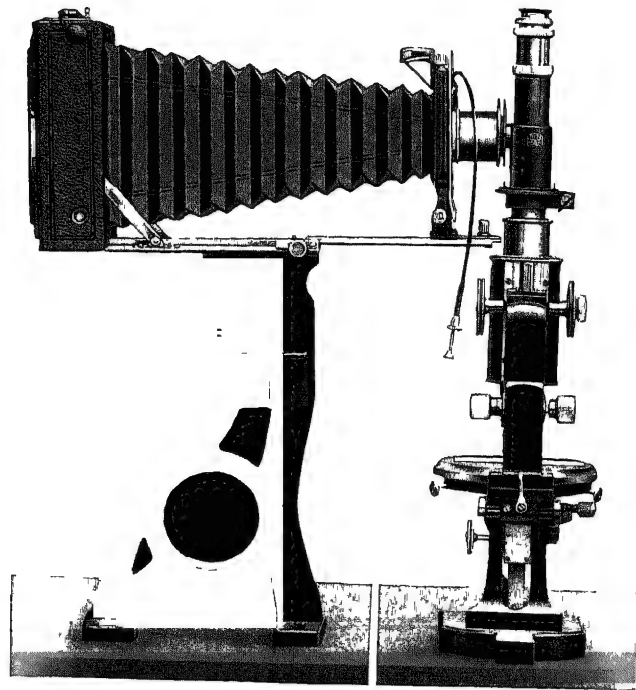


Abb 83 Mikrophotographische Einrichtung der Firma ZEISS Ikon mit dem „Mikrophot“ und einer Balgkamera

Ebene der reflektierenden Prismafläche kommt. Man kann dann das erhaltene Bild ebenso mit Teleobjektiven wie auch ohne solche photographieren. Ein Zeit- und Momentverschluß mit automatischer Auslösung befindet sich am Objektivbrett der Kamera. Die photographische Einrichtung mit dem „Mikrophot“, welche mit der entsprechenden mikrokinematographischen Kamera auch unter der Bezeichnung „Kinamo“ bekannt ist (vgl. Abb. 231), kann zwar nicht als Aufsatzkamera bezeichnet werden, da sie nicht auf das Mikroskop aufgesetzt wird, grundsätzlich leistet sie jedoch dieselben Dienste wie die Aufsatzkammern. Diesen gegenüber weist sie den wesentlichen Vorteil auf, daß die Kamera und das Mikroskop getrennt, wie bei der großen Horizontalkamera aufgestellt werden können (s. Abb. 83). Ein weiterer Vorteil ist die veränderliche Kameralänge, wodurch man die geeignete photographische Vergrößerung ebenso bequem aufsuchen kann wie bei einer kleinen Vertikalkamera. Allerdings läßt sich der Balg-

auszug nur dann voll ausnutzen, wenn die Kamera nicht mit photographischen Objektiven ausgerüstet ist, denn bei diesen muß die Balglange stets der Brennweite des benutzten photographischen Objectives angemessen sein. Es ist auch zu beachten, daß man beim „Mikrophot“ infolge der Reflexion an der Prismafäche ein spiegelverkehrtes Bild des Objekts auf der Platte erhalten wird, was aber kaum irgendeine praktische Bedeutung hat. Von großer Wichtigkeit ist jedoch der Umstand, daß durch den „Mikrophot“ der Mikroskoptubus so stark verlängert wird, daß man das mikroskopische Bild subjektiv nur stehend beobachten kann oder so, daß man das Mikroskop und die Kamera auf entsprechend niedrigeren Tischen aufstellt, um auch sitzend in das „Mikrophot“ hineinblicken zu können. Begreiflicherweise eignet sich also das mit dem „Mikrophot“ ausgerüstete Mikroskop für dauernde Beobachtungen weniger als die Aufsatzkammern. Ist jedoch die Feinohrlupe dem Auge des Beobachters einmal angepaßt, so wird man die Untersuchungen mit dem Mikroskop zunächst ohne Mikrophot betreiben und diesen nur dann aufsetzen, wenn eine Aufnahme erwünscht wird. Das Aufsetzen des Mikrophots und die Verkopplung mit der Kamera kostet nicht mehr Zeit als das Aufsetzen der Makam oder der Mikrokamera nach CERNY.

## XVI. Besondere Formen mikrophotographischer Apparate.

72 Der SKELLsche Apparat. Nach den Angaben von F. SKELL wurde von den optischen Werken G. RODENSTOCK, München, eine kleine Vertikalkamera gebaut, welche die Vorteile aufweist, daß 1. die ganze Grundplatte mit Mikroskop und Kamera zu bequemeren subjektiven Beobachtung schräg gestellt werden kann (wie dieses schon früher von H. STUDNICKA [1] angegeben wurde<sup>1</sup>) und 2. das Mattscheibenbild beim geneigten Mikroskop im Sitzen in einem durch Scharniere mit der Kamera verbundenen, vor dem Zutritt seitlichen Lichtes durch Backen geschützten Spiegel beobachtet und scharf eingestellt wird<sup>2</sup>. Die Grundsätze,

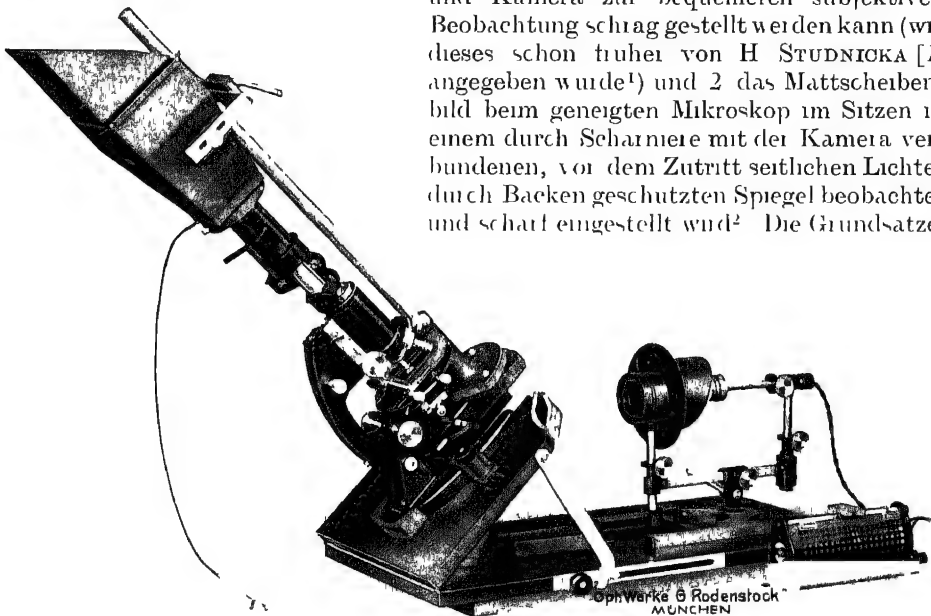


Abb. 84. Der SKELLsche mikrophotographische Apparat in Winkelstellung (aus HEIM u. SKELL [7] Abb. 19, S. 171)

<sup>1</sup> Vgl. auch F. HORTZ [1]

<sup>2</sup> Ein Spiegel zur bequemeren Beobachtung des Mattscheibenbildes wurde zuerst dem Universalapparat der Firma RICHLER (S. S. 166) beigegeben und wird derzeit auch

nach denen der Apparat aufgebaut ist, und die technischen Mittel, welche die bequeme subjektive Beobachtung und die scharfe Einstellung bei schrag



Abb 85 Die Vertikalkamera nach VAN HLURCK der Firma WATSON & SONS (Aus der Druckschrift der genannten Firma Photomicrographic and Projection Instruments, 32 Ed.)

gestelltem Stativ ohne seitliche Beobachtung ermöglichen, sind ohne weiteres aus der Abb 84 ersichtlich. Dazu sei noch erwähnt, daß die Kamera mit starren Wänden für Platten bis zu  $9 \times 12$  ungefähr 270 mm lang ist und mit verschiedenen Okularen benutzt werden kann. Sie ist mit einem Verschuß ausgerüstet, der Zeitaufnahmen und Momentaufnahmen bis zu  $\frac{1}{25}$  Sekunde gestattet. Die Beleuchtung erfolgt mit einer Niedervoltlampe von 8 Volt 1 Amp, die mit einem dreilinsigen aplanatischen Kollektor und einer Kollektorblende ausgerüstet ist. Erwähnenswert ist ferner der sehr mäßige Preis dieser allgemein verwendbaren und sauber gearbeiteten Einrichtung (vgl. L. HEIM u. F. SKELL [7]).

**73 Die mikrophotographischen Kasten der Firma W. WATSON & SONS, Ltd., London.** Eine eigenartige, recht einfache Form zeigt die Vertikalkamera des genannten englischen optischen Werkes, welche auch heute noch nach den Grundsätzen gebaut wird, die VAN HEURCK im Jahre 1863 angegeben hatte (vgl. S. 2). Wie aus Abb 85 ersichtlich, besteht der Apparat aus einem Kasten aus Mahagoniholz, dessen obere Wand für die

Mattscheibe und die Kassetten eingerichtet ist, während das Mikroskop mit dem Boden des Kastens durch einen ledernen Auszug und eine Fassung aus Samt (in

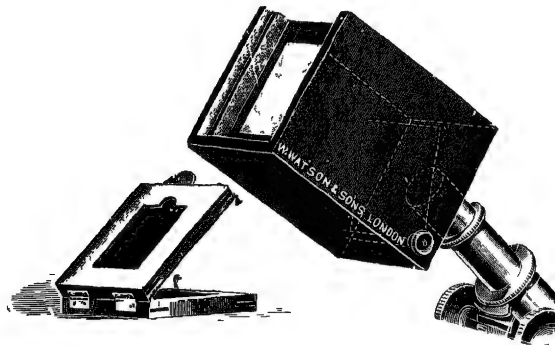


Abb 86 Die Aufsatzkammer der Firma WATSON & SONS Ltd. (The Pocket Camera) (Aus Druckschrift der genannten Firma Photomicrographic and Projection Instruments 32 Ed.)

Abb 85 nicht sichtbar) lichtdicht verbunden wird. Die eine Wand des Kastens ist zu einer Tür ausgestaltet, durch welche man den Kopf in den Kasten stecken und so das mikroskopische Bild — bei lichtdichtem Anschluß des Tubus — scharf einstellen kann. Ist das geschehen, so schließt man die Tür lichtdicht zu und stellt endgültig noch mit Hilfe einer Feinschraube, die sich an der oberen Wand des Kastens befindet und die Mattscheiben-

ebene in der Höhe verschiebt, auf der Mattscheibe scharf ein. Die Länge des Kastens beträgt etwa 45 cm, die Höhe des freien Raumes unterhalb des Kastens

bei den großen Apparaten der Firma ZEISS und LEITZ benutzt, namentlich bei Aufnahmen mit schwacher Vergrößerung und langen Kamera- oder Projektionsplan- spiegel wird in solchen Fällen hinter der Mattscheibe und unterhalb der Kamera aufgestellt

(für das Mikroskop) ungefähr 42,5 cm. Die gleichbleibende Kammerlänge dürfte also ungefähr dem entsprechen, was man mit einer kleinen Vertikalkamera bei 50 cm Balgauszug zu erhalten pflegt. Dementsprechend werden mit dem Apparat die englischen größeren („half-plate“  $6\frac{1}{2}$  in  $\times$   $4\frac{3}{4}$  in,  $16\frac{1}{2}$  cm  $\times$  12 cm) Platten benutzt, es können aber auch kleinere („ $\frac{1}{4}$ -plate“) eingelegt werden.

In vereinfachter und verkleinerter Form wird ein solcher Kasten auch als Aufsatzkammer benutzt, indem man ihn einfach dem aufrecht stehenden oder geneigten Mikroskopstativ aufsetzt, so wie Abb. 86 zeigt. Im eigentlichen Sinne entspricht nur diese Kamera dem Apparat von VAN HEURCK, denn nur hier werden die mikrophotographischen Aufnahmen ohne Okular erzeugt, wie es VAN HEURCK angestrebt hat. Dementsprechend ist dann auch die Leistungsfähigkeit beschränkt (Bezüglich der Aufnahmen ohne Okular vgl. S. 2).

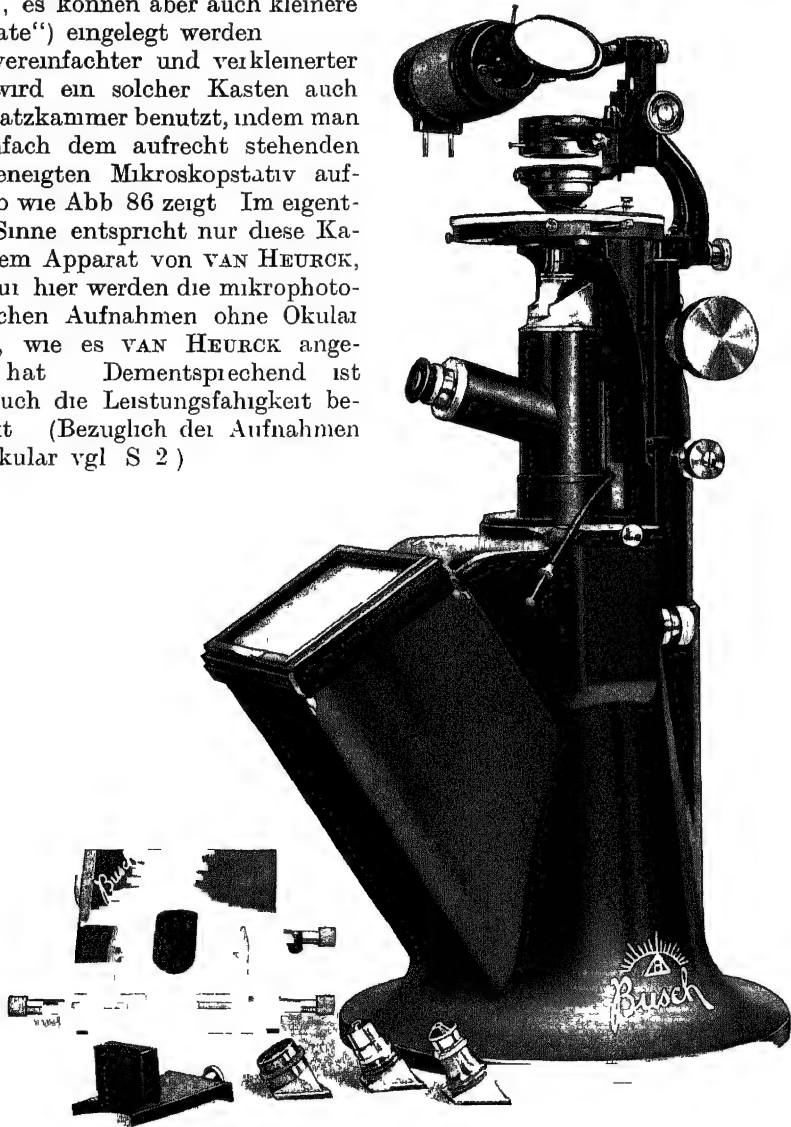


Abb. 87. Das „Metaphot“-Modell 400. (Aus: BUSCH Druckschritt „Mikro“ '10.)

74. Das „Metaphot“-Modell 400 der E. Busch-A.-G., Rathenow (Vgl. H. PFEIFFER [1]). Um auf möglichst geringem Raum die optische Ausrüstung eines großen mikrophotographischen Apparates so unterzubringen, daß man mit wenigen Handgriffen die Beleuchtung regeln, das Bild scharf einstellen und die

Beleuchtung vollziehen kann, hat die E. BUSCH-A.-G. die in Abb. 87 dargestellte neuartige Form der Einrichtung angegeben. Grundsätzlich bedeutet diese Form nichts anderes als die Verwendung einer in der Metallurgie schon bewährten Konstruktion (s. S. 254) für allgemeine mikrophotographische Zwecke<sup>1</sup>. Das Mikroskop ist also auch hier mit dem Objektiv nach oben auf einem Standfuß angebracht, der mit dem angebauten und etwas schräg gestellten Kamerakasten in Verbindung steht. Im Innern dieses Unterbaues befindet sich der Spiegel, welcher das vom Mikroskop kommende Licht auf die Mattscheibenebene lenkt.

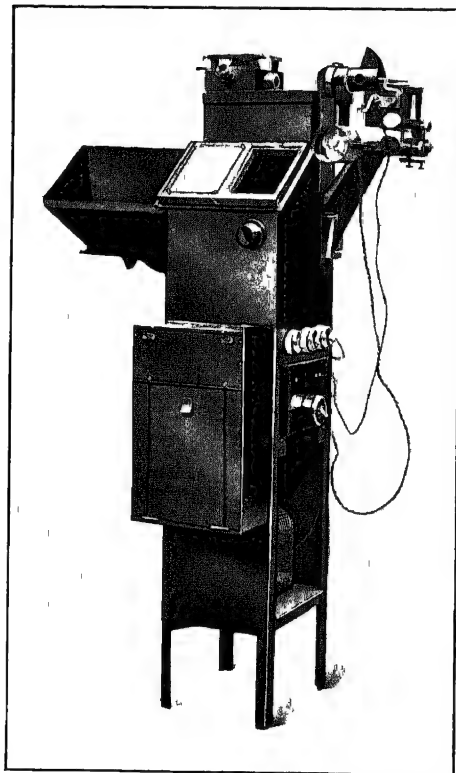


Abb. 88 Das VICKERSsche Projektionsmikroskop der Fuma Watson & Sons, Ltd. (Aus Druckschrift der genannten Firma „The VICKERS Projection Microscope“.)

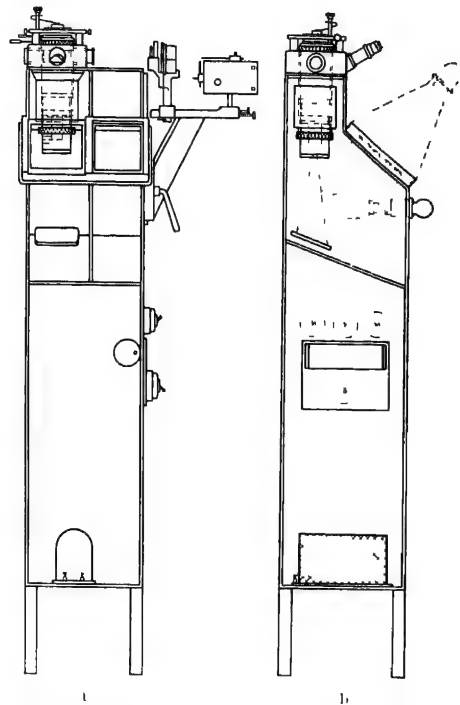


Abb. 89 Das VICKERSsche Projektionsmikroskop in schematischem Durchschnitt.

a Anordnung für Untersuchungen in Aulicht mit einem Vertikalilluminator und einer Kohlenbogenlampe. b Anordnung für Untersuchungen in Durchlicht mit einer Punktlichtlampe und einem Beobachtungstrohr. (Aus derselben Druckschrift wie bei Abb. 88.)

Die Beleuchtungseinrichtung, bestehend aus einer Niedervoltlampe und einem asphärischen Kollektor mit Blende ist an oberster Stelle über dem ABBESchen Beleuchtungsapparat und mit dem seitwärts geneigten Mikroskopspiegel in gleicher Höhe untergebracht. Der breite Mikroskoptubus ist ferner mit einem ausziehbaren Einblickrohr für die seitliche Beobachtung ausgerüstet. Hier kann die scharfe Einstellung des subjektiv beobachteten Bildes wie sonst bei den Auf-

<sup>1</sup> Als Vorläufer aller solcher mikrophotographischer Einrichtungen kann man das sog. „neue umgekehrte Mikroskop“ oder chemische Mikroskop von NACHT aus den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts bezeichnen. (Abgebildet und beschrieben bei C. NAGEL u. S. SCHWENDENER [1] und L. DIPPEL [1]). Auch der auf einem Teleskopstativ montierte Apparat von BENECKE [1] weist in den Grundzügen die charakteristischen Merkmale der gestutzten mikrophotographischen Einrichtungen auf.

satzkammern erfolgen, und man braucht an der Mattscheibe, die ebenfalls sehr bequem zu beobachten ist, nur die letzten Korrekturen der Einstellung vorzunehmen. Der Apparat gestattet die Verwendung von Platten bis zur Größe  $9 \times 12$ . Die Belichtungszeit für Momentaufnahmen ist zwischen 1 und  $\frac{1}{300}$  Sekunde regulierbar (Kompurverschluß). Mit entsprechenden Nebenapparaten (s. Druckschrift Mikro 310 des E BUSCH-A -G) läßt sich die Einrichtung auch für Aufnahmen im Auflicht, in polarisiertem Licht und bei Dunkelfeldbeleuchtung verwenden (vgl. F. HAUSER [1, 5] und J. FLUGGE [1]).

In seinen Grundsätzen dem „Metaphot“ ganz ähnlich gebaut, außer der Mikrophotographie jedoch auch als Zeichenprojektionsapparat verwendbar, ist das sog. „VICKERS Projection Microscope“ der Firma W. WATSON & SONS, Ltd., London, dessen Form und Aufbau aus den Abb. 88 und 89 am besten zu entnehmen ist. Der Apparat ist schon seit 1924 in England eingeführt und eignet sich sowohl für die Hellfeld- wie für die Dunkelfeldmikroskopie, für Aufnahmen im Auflicht und in polarisiertem Licht.

## Spezieller Teil.

### A. Aufnahmen mit besonderer optischer Einrichtung.

#### I. Die Mikrophotographie mit dem einfachen Mikroskop (Aufnahmen bei schwächsten Vergrößerungen).

(Vgl. zusammenfassende Darstellungen bei A. KOHLER [8], B. ROMEIS [7])

**75. Die Wahl der Objektive.** Das Wesen des mikroskopischen Übersichtsbildes besteht darin, daß man das Objekt oder gewisse Teile des Objekts mit einem ausgedehnten Gesichtsfeld schwach vergrößert. Zur subjektiven Beobachtung benutzt man einfache Mikroskope oder Lupen mit einem einfachen Stativ und mit Linsen

von großer Brennweite. Die Verbindung eines einfachen Mikroskops mit einer mikrophotographischen Kamera ist jedoch ziemlich umständlich, vor allem deshalb, weil der lichtdichte Anschluß schwer herzustellen ist. Auch sind die Bedingungen für eine standfeste Aufstellung der Kamera und für eine regelrechte Zentrierung der Beleuchtung bei der üblichen Form der Lupenstativ ungünstig. Will man also mikrophotographische Aufnahmen mit Lupen erzielen, so muß man dafür besondere, den mikrophotographischen Anforderungen angepaßte Stativ bauen lassen (Abb. 90) (vgl. auch STARR [1]). In den meisten Fällen ist es jedoch vorteilhafter, auch zu solchen Aufnahmen das zusammengesetzte Mikroskop zu verwenden. Wie weit man

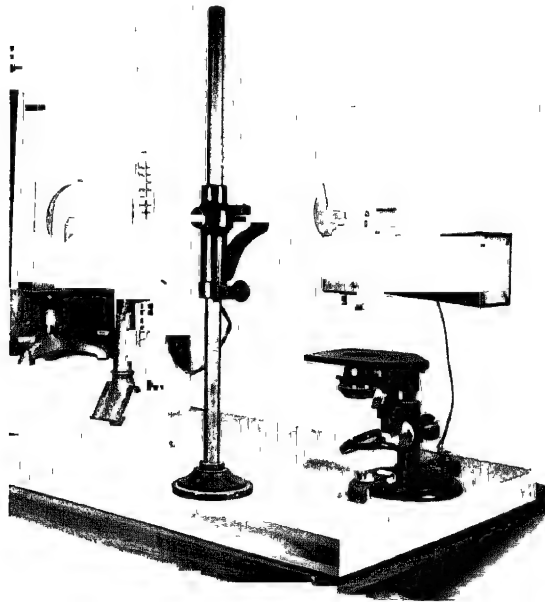


Abb. 90. Mikrophotographische Einrichtung mit einer Spiegelreflexkamera (nach SCHEFFER) und einem Lupenstativ für Aufnahmen bei schwachen Vergrößerungen. (Besonders für Momentaufnahmen geeignet.)

nun das zusammengesetzte Mikroskop umbauen müssen, hängt in erster Reihe von der gewünschten Vergrößerung ab, daneben aber auch von den optischen Eigenschaften der in Betracht kommenden Objektive. Von den stärkeren Vergrößerungen herunter bis zu einer mikroskopischen Vergrößerung von etwa 30fach pflegt man das Bild mit Objektiv und Okular zu

erzeugen, und zwar benutzt man dazu die schwachen Achromate des zusammengesetzten Mikroskops. Diese haben eine Brennweite von etwa 18—25 mm und einen freien Objektstand von 9—19 mm, so daß man sie mit der Grobbewegung des Stativs bequem auf das Objekt einstellen kann. Man hat für die subjektive Beobachtung auch noch schwächere Achromate mit wesentlich längerer Brennweite zur Verfügung, die mit der Grobbewegung des Mikroskopstativs ebenfalls auf das Objekt eingestellt werden können. Vorteilhafter benutzt man aber zu mikrophotographischen Aufnahmen bei Lupenvergrößerungen die schwachen Objektive mit langen Brennweiten, welche nach dem Typus der photographischen Objektive ein anastigmatisch geebnetes Sehfeld liefern. Ob man dabei die Mikroplanare und Mikrotare der Firma ZEISS (Abb 91), die Mikrosummare der Firma LEITZ, die Mikroluminare der Firma WINKEL oder die Mikriopolare der Firma REICHERT benutzt, bleibt im

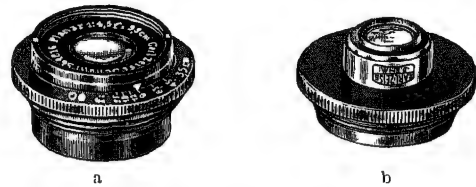


Abb 91 Planar 35 cm (a) und Mikrotar 35 cm (b) der Firma C ZEISS (Aus Druckschrift Mikro 401)

Tabelle 17 Die Mikroplanare (Aus B. ROMEIS [1, S. 431])

Objektiv	Auszug <sup>1</sup>	Vergrößerung	Beleuchtungslinse <sup>2</sup>
Mikroplanar 20 mm <sup>3</sup>	40	16,3	Brillenglaskondensor 3,5 von ZEISS ( $a_1$ ) <sup>1</sup> oder Beleuchtungslinse 16—70 von WINKEL ( $a_2$ ) oder Beleuchtungslinse 20 mm von REICHERT ( $a_3$ )
„	50	21,3	
„	60	21,3	
Mikroplanar 35 mm <sup>5</sup>	40	8,6	$a_1$ oder $a_2$ oder Beleuchtungslinse 30 mm von REICHERT ( $b_1$ )
„	50	11,3	
„	60	14,3	
Mikroplanar 50 mm <sup>6</sup>	40	5,5	Brillenglaskondensor 5 ( $c_1$ ) von ZFSS oder $a_2$ oder Beleuchtungslinse 50 mm von REICHERT ( $c_2$ )
„	50	7,5	
„	60	9,5	
Mikroplanar 70 mm <sup>7, 8</sup>	40	2,6	Brillenglaskondensor 7,5 von ZEISS ( $d_1$ ) oder $a_2$ oder Beleuchtungslinse 70 mm von REICHERT ( $d_2$ )
„	50	4,1	
„	60	5,5	

<sup>1</sup> Die hier angegebenen Werte beziehen sich auf die Maßabteilung der Laufstange (S. a. Fußnote 3 bei Tabelle 12, S. 84)

<sup>2</sup> Wenn nichts Besonderes angegeben ist, wird die zur Verwendung kommende Beleuchtungslinse bis zum Anschlag hochgeklübelt

<sup>3</sup> Mikroplanar 20 mm wird an den Revolver, Schlittenwechsler oder nach Entfernung der Bodenplatte des Tubus am verlängerten Trichteremsatz angeschraubt

<sup>4</sup> In Verbindung mit Mikroplanar 20 mm wird der ZEISSsche Brillenkondensor zuerst bis zum Anschlag in die Höhe geschraubt und dann um 1,7 cm gesenkt

<sup>5</sup> Mikroplanar 35 mm kann an den Objektivschlitten oder an den Revolver angeschraubt werden, der Revolver kann aber bei eingesetztem Mikroplanar nicht gedreht werden. Für gewöhnlich wird das Objektiv nach Entfernung der Bodenplatte des Tubus an den verlängerten Trichteremsatz angeschraubt

<sup>6</sup> Mikroplanar 50 mm muß unter Verwendung eines entsprechenden Zwischenringes an den verkürzten Trichter angeschraubt werden

<sup>7</sup> Mikroplanar 70 mm wird an den verkürzten Trichter angeschraubt

<sup>8</sup> Zur Vergrößerung des gleichmäßig beleuchteten Gesichtsfeldes wird an der Lampe die hintere Vorsatzlinse oder die Mattscheibe eingeschaltet. Die dadurch bedingte Abschwächung der Lichtstärke wird durch längere Belichtung ausgeglichen



allgemeinen ziemlich gleichgültig. Alle diese anastigmatischen Objektive erzeugen ein chromatisch bedeutend besser korrigiertes Bild als sonst die schwachen Achromate. Sie werden nach ihren Brennweiten bezeichnet, und man findet bei ihnen Systeme zwischen den Brennweiten 20 und 100 mm (Mikroluminare werden auch mit noch kürzeren Brennweiten gebaut). Das Öffnungsverhältnis der Systeme ist etwa  $1:4\frac{1}{2}$  bis  $1:5$ , was einer Num. Ap. von 0,1—0,11 entspricht. Je nach der Brennweite ist ihre Einzelvergrößerung verschieden. Bei 40 cm langem Kameraauszug erhält man mit dem System von 70 mm Brennweite eine etwa 3fache, mit dem System von 20 mm Brennweite eine etwa 20fache Bildvergrößerung. Durch weiteren Kameraauszug kann man die Bildvergrößerung bei der geringen Apertur der Objektive erheblich steigern, ohne die Grenze der erforderlichen Vergrößerung zu überschreiten. Mit der geringen Apertur hängt auch die große Tiefenschärfe dieser Linsen zusammen. Zur Steigerung der Tiefenschärfe sind die Mikroplanare, Mikrosummae und Mikropolare (nach Wunsch auch die Mikroluminare) mit eingebauten Irisblenden versehen, die billigeren Mikrotare jedoch nicht. Die letzteren haben die Form der Mikroskopobjektive mit kurzer Fassung, während die übrigen mehr an die Form der photographischen Objektive erinnern. Die eingebaute Irisblende kommt hauptsächlich bei Aufnahmen zur Verwendung, wo man von körperlichen Objekten (Embryonen, ganzen Tieren und Pflanzen oder Gewebezuchten) plastisch wirkende Aufnahmen erhalten will. Bei Übersichtsbildern von mikroskopischen Schnittpräparaten bleibt dagegen die Irisblende ganz offen (Tabelle 17, 18, 19).

Tabelle 18 Die Mikropolare (Aus B. ROMETS [7, S. 432])

Objektiv	Auszug <sup>1</sup>	Vergrößerung	Beleuchtungslinsc <sup>2</sup>
Mikropolar 20 mm <sup>3</sup>	40	18,0	Beleuchtungslinse 20 mm von REICHERT ( $a_1$ ) oder Brillenglaskondensor 3,5 von ZEISS ( $a_1$ ) <sup>4</sup> oder Beleuchtungslinse 16—70 von WINKEL ( $a^3$ )
„	50	23,5	
„	60	28,7	
Mikropolar 30 mm <sup>5</sup>	40	9,6	Beleuchtungslinse 30 mm von REICHERT ( $b_1$ ) oder $a_2$ oder $a_3$
„	50	12,4	
„	60	16	
Mikropolar 50 mm <sup>5</sup>	40	5,4	Beleuchtungslinse 50 mm von REICHERT ( $c_1$ ) oder Brillenglaskondensor 5 von ZEISS ( $c_2$ ) oder $a_3$
„	50	7,5	
„	60	9,5	
Mikropolar 75 mm <sup>6, 7</sup>	40	2,58	Beleuchtungslinse 75 mm von REICHERT ( $d_1$ ) oder Brillenglaskondensor 7,5 von ZEISS ( $d_2$ ) oder $a_3$
„	50	4,05	
„	60	5,4	

<sup>1</sup> Siehe Fußnote 1 der Tab. 17<sup>2</sup> Siehe Fußnote 2 der Tab. 17<sup>3</sup> Mikroplanar 20 mm wird in den Revolver, Schlittenwechsler oder nach Entfernung der Bodenplatte des Tubus an den verlängerten Trichter angeschraubt.<sup>4</sup> Der Brillenglaskondensor 3,5 muß nach Hochstellen bis zum Anschlag wieder um 1,7 cm gesenkt werden.<sup>5</sup> Mikropolar 30 und 50 mm können an Revolver, Schlittenwechsler oder an den verlängerten Trichter angeschraubt werden.<sup>6</sup> Mikropolar 75 mm wird an den verkürzten Trichter angeschraubt.<sup>7</sup> Zur Vergrößerung des gleichmäßig beleuchteten Gesichtsfeldes wird an der Lampe die hintere Vorsatzlinse oder die Mattscheibe vorgeschaltet.

Tabelle 19 Die Mikroluminare (Aus B. ROMEIS [1, S. 430])

Objektiv	Auszug <sup>1</sup>	Vergroßerung	Beleuchtungslinse <sup>2</sup>
Mikroluminar 8 mm <sup>3</sup>	40	36	Hinterlinse des ABBESchen Kondensors ( $a_1$ ) <sup>4</sup> oder Beleuchtungslinse für Mikroluminar 10 von WINKEL ( $a_2$ )
„	50	41	
„	60	56,5	
Mikroluminar 16 mm <sup>5</sup>	40	10,3	Beleuchtungslinse für Mikroluminare 16—70 mm von WINKEL ( $b_1$ ) oder Brillenglaskondensor 3,5 von ZEISS ( $b_2$ ) <sup>6</sup> oder Beleuchtungslinse 20 mm von REICHERT ( $b_3$ )
„	50	26	
„	60	32	
Mikroluminar 26 mm <sup>5</sup>	40	12,5	$b_1$ oder $b_2$ oder Beleuchtungslinse 30 mm von REICHERT ( $c_1$ )
„	50	16	
„	60	19,6	
Mikroluminar 36 mm <sup>5</sup>	49	8,2	$b_1$ oder $b_2$ oder $c_1$
„	50	10,4	
„	60	13,5	
Mikroluminar 50 mm <sup>5</sup>	40	6,1	$b_1$ oder Brillenglaskondensor 5 von ZEISS ( $e_1$ ) oder Beleuchtungslinse 50 mm von REICHERT ( $e_2$ )
„	40	8,4	
„	60	10,5	
Mikroluminar 70 mm <sup>7</sup>	40	3,3	$b_1$ oder Brillenglaskondensor 7,5 von ZEISS ( $f_1$ ) oder Beleuchtungslinse 70 mm von REICHERT ( $f_2$ )
„	50	4,8	
„	60	6,4	

<sup>1, 2</sup> Siehe die Fußnoten 1 u. 2 bei Tab. 17

<sup>3</sup> Mikroluminar 8 mm muß an den Objektschlitten oder an den Revolver angeschraubt werden, da man sonst nicht nahe genug an das Präparat herankommt. Neuerdings liefert WINKEL statt des Mikroluminars 8 mm ein solches von 10 mm Brennweite. Dadurch erfahren die obigen Zahlen eine kleine Veränderung.

<sup>4</sup> Die Hinterlinse des ABBESchen Kondensors wird so weit gesenkt, bis die Kollektorblende in die Objektivöffnung abgebildet ist. Die Einstellung läßt sich am besten mit Hilfe eines Taschenspiegels vornehmen. Man stellt zuerst das Präparat mit dem Objektiv in gewohnter Weise ein, entfernt dann das Präparat und betrachtet in dem Taschenspiegel von unten her das Spiegelbild der Objektivöffnung. Dann kurbelt man den Beleuchtungsapparat so lange hin und her, bis das Bild der Blende in die Objektivöffnung scharf abgebildet ist, allenfalls hält man vor die Objektivöffnung ein Stückchen Karton oder dergleichen. Es ist zweckmäßig, dabei die Kollektorblende etwas zuzuziehen und das Grünfilter vorzuschalten, da sich dadurch das Bild besser beobachten läßt.

<sup>5</sup> Die Mikroluminare 16—50 mm werden gleich gewöhnlichen Objektiven in den Revolver oder Schlittenwechsler eingeschraubt. Statt dessen können sie nach Entfernung der Bodenplatte des Mikroskoptubus auch an den verlängerten Einsatztrichter angeschraubt werden.

<sup>6</sup> Der ZEISSsche Brillenglaskondensor wird (in Verbindung mit Mikroluminar 16 mm) so weit gesenkt, daß wie bei Nr. 4 das Bild der Kollektorblende in die Objektivöffnung abgebildet ist.

<sup>7</sup> Mikroluminar 70 mm läßt sich in Verbindung mit dem Revolver eben noch verwenden, während bei Gebrauch eines Schlittenwechslers der Tubus nicht mehr weit genug in die Höhe geschraubt werden kann, um das Bild scharf zu bekommen. In diesem Falle entfernt man die ganze Schlittenvorrichtung und schraubt das Objektiv direkt in das Gewinde der Tubusbodenplatte ein. Bei Verwendung des Einsatztrichters wird es mittels Zwischenringes an den verkürzten Trichter angeschraubt oder man entfernt den Mikroskoptubus ganz und schraubt den Einsatztrichter an das Verbindungsstück der vorderen Kamerawand. Im ersteren Fall erfolgt die Feineinstellung durch das Mikroskop, im letzteren durch Bewegen des Schneckenganges am Verbindungsstück.

**76. Die Stutzen.** Die anastigmatischen Objektive werden mit eigens dazu angefertigten Stutzen oder Trichtern (Abb 92) ohne Okular benutzt. Die stärkeren unter ihnen — bis etwa zu den Brennweiten 50 mm — lassen sich

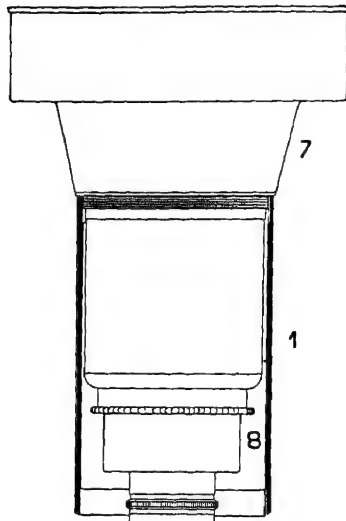


Abb 92 Durchschnitt eines weiten Tubus (1) mit Trichter III-T (7) und einem kurzen Trichter (8) für Planar 50 mm (Aus ZEISS-Druckschrift Mikro 401)

auch am Ende des Mikroskoptubus in üblicher Weise mit einem Revolver, einem Schlittenwechsler oder einem Zwischenring befestigen, da die Grobbewegung des Stativs noch ausreicht, um sie einstellen zu können. Auch ihr Anschraubgewinde entspricht der Norm. Solche mit einer längeren Brennweite als 50 mm eignen sich jedoch nicht mehr zum Anschrauben an den Revolver, teils weil die Grobbewegung des Mikroskops nicht mehr ausreicht, um sie einzustellen, teils weil die schwachsten Systeme über 70 mm Brennweite viel zu breit sind. Auch bei den stärkeren Systemen ist es jedoch vorteilhafter, sie ebenso wie die schwächeren mit einem Trichter zu benutzen, und zwar aus dem Grunde, weil der innere Tubus einen Teil ihres Gesichtsfeldes abschneidet. Um also den Vorteil des großen Gesichtsfeldes voll auszunutzen zu können, schraubt man den Schlußring am oberen Ende des Stativs ab und entfernt den inneren Tubus vollkommen. Die Schlußplatte am unteren Ende des Tubus muß ebenfalls entfernt werden. In das so übriggebliebene breite

Rohr setzt man dann den Trichter ein, der an seinem unteren Ende eine weite Öffnung hat. In diese Öffnung werden die schwachsten Objektive von 70 mm

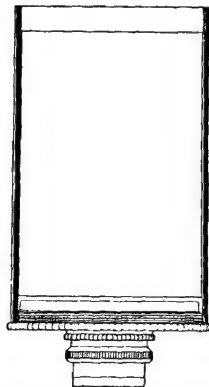


Abb 93 Durchschnitt eines weiten Tubus (1) mit dem Ring O-T für Planar 35 mm und Mikrotar 35 mm (Aus ZEISS-Druckschrift Mikro 401)

Brennweite eingeschraubt und liegen also etwa in der Mitte des Tubus. Die stärksten mit den kürzesten Brennweiten werden mit passenden Zwischenringen so am unteren Ende des Trichters befestigt, daß die Linse gerade am unteren Ende des Tubus liegt (Abb 93). Die mittelstarken (mit 30—50 mm Brennweite) können in ein Zwischengewinde eingeschraubt werden und liegen im Innern des Tubus. So lassen sich dann alle anastigmatischen Objektive mit der Grobbewegung des Mikroskopstativs gut einstellen. Am oberen Ende des Trichters sitzt der trichterförmige Aufsatz zur lichtdichten Verbindung mit der Kamera (Tabelle 20).

Bei den im Innern des Tubus untergebrachten Objektiven wird jedoch die Regelung der Öffnung mit der Ausblende erhebliche Schwierigkeiten verursachen, was recht störend empfunden wird, da von der entsprechenden genauen Regelung dieser Blendenöffnung die Güte der bei solchen schwachen Vergrößerungen aufgenommenen Bilder, d. h. die Schärfe, die Kontrastwirkung und, wo es darauf ankommt, auch die plastische Wirkung streng abhängig ist.

Aus diesem Grunde eignen sich die neuen großen Mikroskopstative der ZEISS-Werke mit auswechselbarem Tubus zu den Aufnahmen am besten. Hier befindet sich in der Tubusführung eine Schlittenführung, die gewöhnlich an ihrer unteren Seite den Revolver, an der oberen Seite den monokularen oder bin-

Tabelle 20 Die Befestigung der Objektive und Okulare am Tubus der Stativ I (Aus Zeiss-Druckschrift Mikro 349)

Man sucht zunächst in Spalte b das zu benutzende optische System oder die Gruppe, in die es gehört (Okular, Objektiv). Bei den Mikroprojektionssystemen ist zu beachten, ob nur mit natürlichem nicht polarisiertem Licht oder mit polarisiertem Licht gearbeitet werden soll.

In Spalte c sind dann die Hilfsvorrichtungen angegeben, die am oberen Ende des weiten Tubushauptteils angebracht werden in Spalte d dagegen diejenigen, welche am unteren Ende ihren Platz finden. Als „Trichter“ sind stets hohe, an beiden Enden verschiedenen weite Zwischenstücke bezeichnet, als „Ringe“ dagegen flache oder zylindrische Zwischenstücke. Trichter und Ringe sind unter sich wieder unterschieden durch Buchstaben und Ziffern, die die an dem Zwischenstück befindlichen Gewinde bezeichnen. T bedeutet das Gewinde des Tubushauptteils. Die Ziffern 0 bis III bedeuten die photographischen Rohrstutzengewinde 0 bis III. Das Rohrstutzengewinde 0 stimmt zugleich mit dem Ausraubgewinde der Mikroskopobjektive vollkommen überein. Bei den Objektschlitten des großen Schlittenwechslers bedeuten die Ziffern 0 bis III ebenfalls die Ausraubgewinde, mit Z ist ein Objektschlitten bezeichnet, der eine höhere, für sich rentierbare, mit dem Anraubgewinde 0 versehene Platte trägt. Lediglich zur Lichtdichten Verbindung zwischen Mikroskop und Kamera, aber nicht zum Anschrauben von Objektiven, dient der Trichter III—T, wenn außerdem noch ein Ring, Trichter oder Wechsler am unteren Tubusende angegeben ist. Dann nimmt dieser das Objektiv auf.

Einsteckrohre und Einsteckstutzen sind nur für Projektion, nicht für Mikrophotographie bestimmt.

a	b	c	d
Licht	Objektive und Okulare	Am oberen Ende des Tubushauptteils	Am unteren Ende des Tubushauptteils
natürliches	Planar 10 cm <sup>1</sup>	Trichter III—T Einsteckrohr	
	Planar 7,5 cm	Trichter III—T, daran Ring II—III Einsteckrohr	
	Mikrotar 70 mm	Trichter III—T, daran Ring II—III und 0—II Einsteckrohr	
	Planar 5 cm	Trichter III—T daran Trichter 0—III Einsteckrohr	Ring 0—T Großer Tubusschlitten mit Objektschlitten 0
	Planar oder Mikrotar 35 mm	Trichter III—T Einsteckrohr	Trichter 0—T Großer Tubusschlitten mit Objektschlitten Z
	Planar 2 cm	Einsteckrohr	
polarisiertes	Planar 7,5 cm		Ring II—T Großer Tubusschlitten mit Objektschlitten II
	Mikrotar 70 mm		Ring 0—T Großer Tubusschlitten mit Objektschlitten 0
	Planar 5 cm	Großer Analysator (Bei mikrophotographischen Arbeiten mit angeschraubtem Trichter zur lichtdichten Verbindung zwischen Mikroskop und Kamera zu verwenden)	Großer Tubusschlitten mit Objektschlitten 0
	Planar oder Mikrotar 35 mm		Ring 0—T Großer Tubusschlitten mit Objektschlitten 0
	Planar 2 cm		Trichter 0—T Großer Tubusschlitten mit Objektschlitten Z
			Trichter 0—T Großer Tubusschlitten mit Objektschlitten Z
natürliches oder polarisiertes	Mikroskopobjektive		Ring 0—0 Revolver Kleiner Schlittenwechsler
	Okular <sup>2</sup>	Auszugstutzen Einsteckstutzen	
		Zwischenstück mit Paßstück für Homale	
natürliches	Homale <sup>3</sup>	Paßstück	

<sup>1</sup> Kann nicht mit dem großen Analysator benutzt werden, weil der Spielraum der groben Einstellung bei den Stativen I dafür nicht ausreicht.

<sup>2</sup> Ausgenommen sind einige Objektive besonderer Bauart, für die besondere Zwischenstücke vorgesehen sind. Vergleiche Mikro 390.

okularen Tubus trägt. Entfernt man den Mikroskoptubus, so kommt an seiner Stelle ein in die Tubusführung passender Trichter und in die Schlittenführung

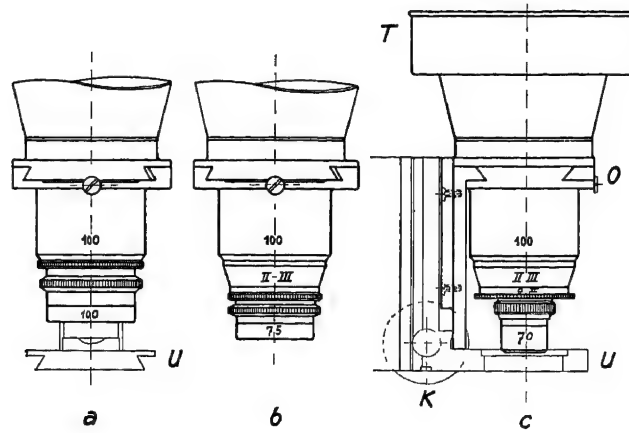
*Planar 100**Planar 75**Mikrotar 70*

Abb 94 Befestigung der schwachen mikrophotographischen Objektive an den Mikroskopstativen mit austauschbarem Tubus  
T = Trichter, O = obere, U = untere Schlittenführung (Aus ZEISS Druck schrift Mikro 422)

S 288) Objektive von 70—100 mm Brennweite werden nur mit dem Objektschlitten in die Schlittenführung eingesetzt. Planar 100 wird dabei in das

unten das gewünschte anastigmatische Objektiv mit einem besonderen Objektschlitten, der einen Rohstützen mit Gewinde trägt (s. Abb 94 u. 95)

Die Befestigung der Objektive an der Schlittenführung erfolgt den verschiedenen langen Brennweiten entsprechend verschieden, auch benutzt man besondere Einrichtungen, wenn man mit solchen anastigmatischen Objektiven ohne Okular in polarisiertem Licht photographische Aufnahmen macht (siehe

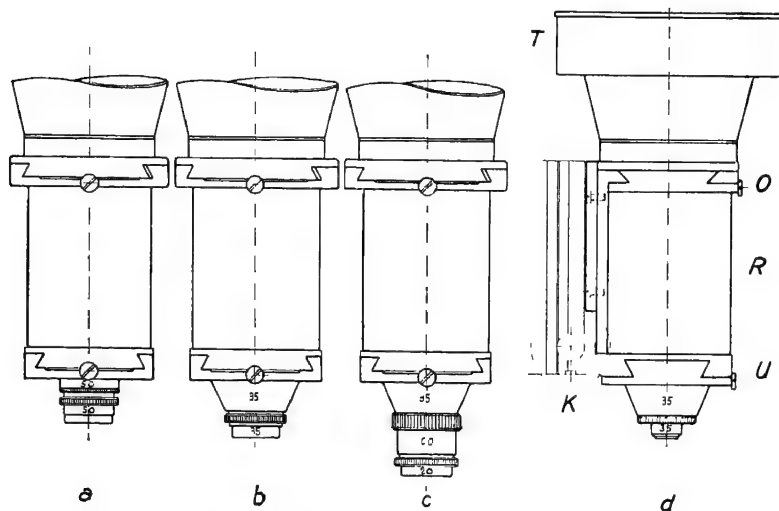
*Planar 50**Planar 35**Planar 20**Mikrotar 35*

Abb 95 Befestigung der schwachen mikrophotographischen Objektive an den Mikroskopstativen mit austauschbarem Tubus

R = Rohstützen. Beschriftung sonst wie bei Abb 93 (Aus ZEISS-Druckschrift Mikro 422)

Rohstützengewinde eingeschraubt, Planar 75 und Mikrotar 70 aber mit entsprechenden Zwischenringen ausgerüstet und so an den Objektschlitten befestigt

(Abb 94) Bei Objektiven mit kürzeren Brennweiten verwendet man Objektivschlitten, deren Rohrstützenlänge den Brennweiten der Objektive angepaßt ist (Abb 95).

Wo kein Stativ mit auswechselbaren Tuben oder mit einem breiten Tubus zur Verfügung steht, muß man auf die anastigmatischen Objektive verzichten und versuchen, mit schwachen Achromaten oder Achromaten und den dazu passenden Okularen oder Homalen die gewünschten schwachen Vergrößerungen zu erzeugen. Auch für solche Fälle steht eine große Anzahl von entsprechenden schwachen Trockensystemen zur Verfügung, so z. B. die Achromate von ZEISS 1,1—1,5, 1,5—2<sup>1</sup>, 3 und 5, die Achromate von LEITZ 1 und 2 oder die Achromate von WINKEL 25 und 40 mm. Die letzteren sind besonders geeignet, da sie eine vorzügliche sphärische und chromatische Korrektur aufweisen und den schwachen Achromaten also weit überlegen sind. Als Okulare verwendet man am besten die schwachen periplanatischen Okulare 4fach und 5fach, wobei man als schwachste Vergrößerung (bei kleinstem Kammerauszug) eine etwa 10fache Bildvergrößerung erhalten kann (Tabelle 21 u. 22). Wünscht man schwächere Vergrößerungen herzustellen, und hat man kein Stativ mit breitem Tubus dazu, so bleibt nichts anderes übrig, als die gleich zu beschreibenden schwächsten anastigmatischen Objektive zu benutzen, die man am Objektivbrett der Kamera in das dort befindliche Verbindungsstück einschraubt.

Alle Bilder, die man mit den schwachen mikroskopischen Objektiven und mit einem engen Mikroskoptubus erzielt, haben im Vergleich zu den von den anastigmatischen Objektiven gelieferten Bildern den Nachteil des beschränkten Sehfeldes. Sonst ist die Abbildung bei den Achromaten 40 und 25 mm (WINKEL) ebenso gut wie bei den anastigmatischen Objektiven. Sie ist dagegen bei den Achromaten infolge des Mangels an sphärischer Korrektur weniger scharf.

Tabelle 21

Die Verwendung von Mikroskopobjektiven der Firma WINKEL zu Aufnahmen bei schwacher Vergrößerung (AUS B. ROMEIS [I, S. 432—433])

Objektiv	Okular	Auszug <sup>2</sup>	Vergrößerung	Beleuchtungslinse <sup>3</sup>
Achromat 25 mm von WINKEL	Periplanat Okular 5 ×	40	18,5 <sup>1</sup>	Brillenglaskondensor 3,5 von ZEISS oder Beleuchtungslinse 20 mm von REICHERT
		50	30,5	
		60	43	
Achromat 25 mm von WINKEL	Periplanat Okular 8 ×	40	29,5	Brillenglaskondensor 3,5 von ZEISS oder Beleuchtungslinse 20 mm von REICHERT
		50	48	
		60	66	
Achromat 40 mm von WINKEL	Periplanat Okular 5	40	8 <sup>1</sup>	Brillenglaskondensor 3,5 von ZEISS oder Beleuchtungslinse 30 mm von REICHERT
		50	14,6	
		60	21,2	
	Periplanat Okular 8	40	13,0	Dsgl.
		50	20,5	
		60	33	

<sup>1</sup> Bei diesen Objektiven ist die Linse in ihrer Fassung verstellbar, so daß man durch Drehung an der Fassung die Einzelvergrößerung von 1,1fach bis zu 1,5fach bzw. von 1,5fach bis zu 2fach steigern kann.

<sup>2</sup> Wie Anmerkung 1 bei Tab. 17.

<sup>3</sup> Wie Anmerkung 2 bei Tab. 17.

<sup>4</sup> Der Durchmesser des Gesichtsfeldes ist sehr klein, die Aufnahme daher nur bedingt brauchbar.

Tabelle 22  
Die Verwendung von Mikroskopobjektiven der Firma ZEISS zu  
Aufnahmen bei schwacher Vergrößerung (Aus B. ROMEIS [1, S. 433])

Objektiv	Okular	Auszug <sup>1</sup>	Vergrößerung	Beleuchtungslinse <sup>2</sup>
Achromat 5 von ZEISS (alte Bezeichnung $a_3$ )	Periplanat Okular 5 ×	40	17 <sup>6</sup>	Brillenglaskondensor 3,5 von ZEISS <sup>3</sup> oder Beleuchtungslinse 30 mm von REICHERT <sup>3</sup>
		50	27,7	
		60	38,5	
	Periplanat Okular 8 ×	40	26,5	Desgl
		50	42,7	
		60	59,0	
Achromat 3 von ZEISS (alte Bezeichnung $a_2$ )	Periplanat Okular 5 ×	40	9 <sup>6</sup>	Brillenglaskondensor 3,5 von ZEISS <sup>3</sup> oder Beleuchtungslinse 30 mm von REICHERT <sup>3</sup>
		50	15,5	
		60	22	
	Periplanat Okular 8 ×	40	15	Desgl
		50	24,5	
		60	34,5	
Achromat 1,5—2 von ZEISS (alte Bezeichnung $a_1$ ) <sup>4</sup>	Periplanat Okular 5 ×	40	4,9 <sup>6</sup>	Brillenglaskondensor 5 von ZEISS oder Beleuchtungslinse 50 mm von REICHERT
		50	9,6	
		60	14,0	
	Periplanat Okular 8 ×	40	8,6	Desgl
		50	15	
		60	21	
Achromat 1—1,5 von ZEISS (alte Bezeichnung $a_0$ ) <sup>5</sup>	ohne Okular	40	4,5 <sup>6</sup>	Brillenglaskondensor 7,5 von ZEISS oder Beleuchtungslinse 30 mm von REICHERT
		50	6,4	
		60	8,2	

Welche Brennweiten soll man nun zu bestimmten Vergrößerungen wählen?  
Schon an früheren Stellen haben wir erfahren (s. auch Tabellen 17—22), daß



Abb. 96 Bakterienkolonien auf Agar-Nährboden  
in durchfallendem Licht (B. dysenteriae SHIGA) Mikro-  
polar 30 min., Kammerlänge 40 Vergr. rund 10fach

man ein und dieselbe Vergrößerung je nach dem Kameraauszug mit Objektiven von verschiedener Brennweite erzielen kann. Da mit kürzerer Brennweite die Apertur größer und die Abbildungstiefe kleiner wird, eignen sich solche in erster Reihe für Aufnahmen von Schnittpräparaten, namentlich dort, wo man auf eine scharfe Abbildung in der Mitte des Sehfelds Gewicht legt (Abb. 96). Die Objektive mit längeren Brennweiten liefern eine gleichmäßige Abbildung auch an den Randteilen. Sie eignen sich

<sup>1</sup> Wie Anmerkung bei Tab. 17. <sup>2</sup> Wie Anmerkung bei Tab. 17.

<sup>3</sup> Die Beleuchtungslinse wird nach dem Einstellen des Präparates auf das Mattscheibenglaschen in der auf S. 187, Anm. 4, beschriebenen Weise so weit gesenkt, bis die Kollektorlinse auf die Aufsteckblende des Objectives scharf abgebildet ist. Dann wird die Aufsteckblende entfernt.

<sup>4</sup> Bei der neuen Fassung des ZEISS'schen Objectives läßt sich die Eigenvergrößerung der Linse durch Verstellen von 1,5- auf 2fach verändern. Für die Aufnahme wird das Objectiv durch Drehen bis zu der am Gewinde angebrachten Ringmarke auf die Eigenvergrößerung 2 eingestellt.

<sup>5</sup> Das Objectiv wird für die Aufnahmen auf die Einzelvergrößerung 1 eingestellt.

<sup>6</sup> Der Durchmesser des Gesichtsfeldes ist sehr klein, weshalb diese Kombination meist erst von einer Auszugslänge von 50 cm an brauchbar ist.

daher vor allem für Übersichtsbilder von Kulturpräparaten (Gewebe-, Protisten- und ähnliche Kulturen) und für die Abbildungen auf großer Bildfläche, die als Schaubilder verwendet oder bei der drucktechnischen Wiedergabe verkleinert werden sollen (Abb 97). Hat man z. B. von embryologischen Schnittserien Aufnahmen von etwa 8–10facher Vergrößerung anzufertigen, bei denen in der Mitte des Bildes bestimmte Organanlagen scharf hervorgehoben werden sollen, so wird man vorteilhafter das Mikropolar 35 mm bei 40 cm Kameraauszug verwenden (Vergrößerung 8,6-fach), als das Mikropolar 50 mm bei 60 cm Kameraauszug (Vergrößerung 9,5-fach). Sollen jedoch die Aufnahmen als Wandtafel Verwendung finden, so empfiehlt sich das umgekehrte Verfahren.

Den Vorteil des großen Schfelds kann man am besten mit den großen mikrophotographischen Apparaten ausnutzen, wo einem dazu Balgauszuge bis zu 1 oder 1½ m Länge zur Verfügung stehen. Benutzt man sich mit einer kleineren Bildfläche, wie sie auf dem Plattenformat 9/12 zu erhalten ist, so lassen sich zu solchen Aufnahmen auch

die kleinen Vertikalkammern gut verwenden. Für Aufnahmen von größeren Bildflächen eignet sich die waagerechte Anordnung besser als die senkrechte, da man die Einstellenebene (Mattscheibe) besser überblicken kann.

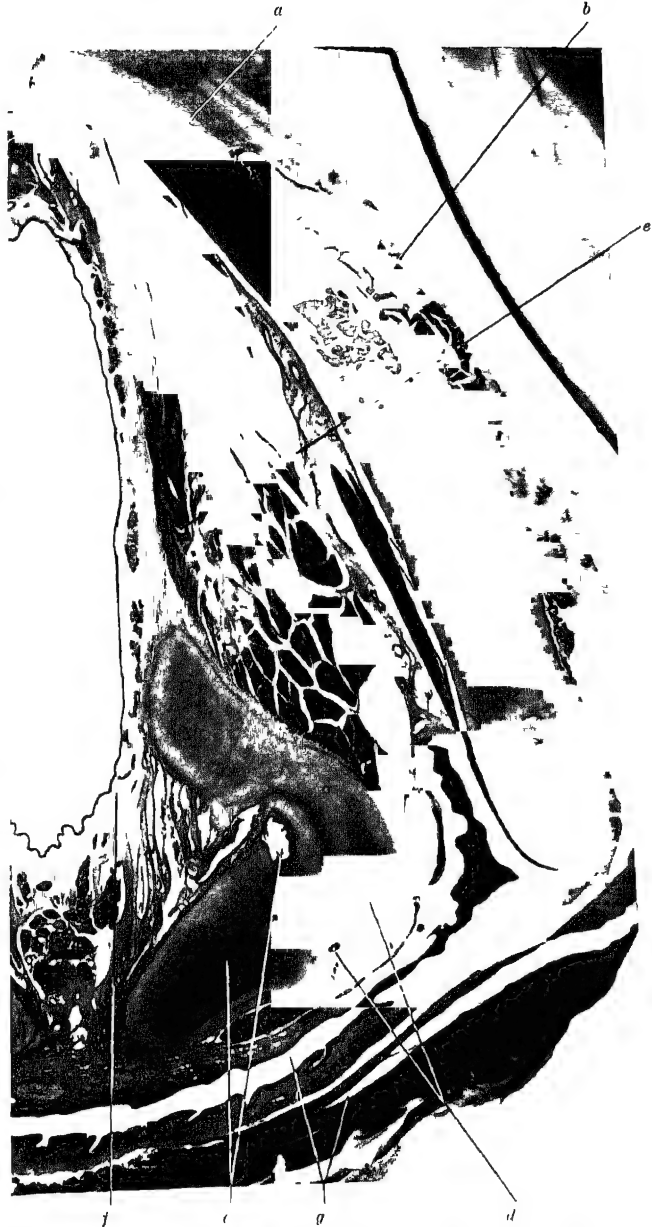


Abb 97. Schnittpräparat durch den Kieferkopf des Menschen.  
Färbung: Hamatoxylin-Eosin.

a, c, d = Knorpel, blauschwarz; e = Muskel, rot; b = Verknöcherungs-  
herd, rot; f und g = Schleimhaut, blauschwarz. Phot. Vergr. 5fach.  
Die blau und violett gefärbten Stellen sind tonrichtig, die rot gefärbten  
mit etwas dunklerer Tönung wiedergegeben.  
(Aus H. P. P. [7, S. 554, Abb. 649].)



**77. Die Beleuchtung.** Zur Beleuchtung der Bildfläche in der Einstellebene sind besondere Kondensoren, Zentrierlinsen, Hilfskollektoren oder Kollimatoren erforderlich, die auf S 154 bei der Beschreibung der großen mikrophotographischen Apparate erwähnt wurden. Von diesen wollen wir uns zunächst mit den sog Brillenglaskondensoren befassen, welche bei den Aufnahmen mit Lupenvergrößerung an Stelle des ABBESchen Kondensors in den Beleuchtungsapparat eingesetzt werden. Wurde man nämlich den ABBESchen Apparat mit einem gewöhnlichen Kondensor benutzen, so wurde die Austrittspupille des Kondensors (selbst bei abgeschraubter Frontlinse) so weit vor der Eintrittspupille des Objektivs liegen, daß nur der mittlere Teil des Leuchtfelds wirksam wäre, und man also ein abgeschattetes (vignettiertes) Sehfeld erhalten würde. Die Beleuchtung muß richtig so erfolgen, daß der ganze Lichtstrom vom Leuchtfeld in die Eintrittspupille des Objektivs konzentriert wird. Das erzielt man mit einer bikonvexen oder plankonvexen Linse, die früher die Form eines dünnen Brillenglases hatte und daher der Brillenglaskondensor genannt wurde. Sie wird vor dem anastigmatischen Objektiv so aufgestellt, daß sie die Aperturblende des Kondensors (die Irisblende auf Reiter oder die Kollektorblende) nahe zur Eintrittspupille des Objektivs abbildet. Die Bezeichnung Brillenglaskondensor ist deshalb nicht ganz berechtigt, denn diese Linse konzentriert zwar die Beleuchtungsstrahlen in die Eintrittspupille des Objektivs, das Licht aber, mit dem das Objekt beleuchtet wird, wird von anderen vor dem Brillenglaskondensor aufgestellten Linsen auf das Objekt gelenkt. Bei Beleuchtungseinrichtungen, wo die Lichtquelle nicht allzu weit von der Objektebene steht, wie z. B. bei den kleinen Vertikalkammern, übernimmt die Kollektorlinse die Funktion eines Kondensors, und die Kollektorblende wird zur Aperturblende der Beleuchtung. Bei Verringerung ihrer Öffnung erhält man dann nicht mehr ein kleineres Leuchtfeld, sondern eine geringere Apertur und dementsprechend eine geringere Helligkeit der Beleuchtung. In solchen Fällen bildet der knapp vor dem Objekt aufgestellte Brillenglaskondensor in der Nähe der Objektivöffnung, die oft kleiner ist als das Sehfeld, diese Blendenöffnung ab. Bei den großen mikrophotographischen Apparaten jedoch, wo die verschiedenen Bestandteile der Beleuchtungseinrichtung auf einer langen optischen Bank aufgestellt werden, namentlich wenn die waagerechte Stellung des Stativs Zentrierlinsen und Hilfskollektoren erfordert, reicht der Kollektor zu diesem Zweck nicht mehr aus, und man besorgt die Beleuchtung des Objekts mit speziellen Beleuchtungslinsen (s. Abb 66 u 67). So wird von der Firma ZEISS zum Gebrauch mit den Brillenglaskondensoren ein großer Kondensor von 20 cm Brennweite (K 20) geliefert, welcher bei seiner Größe nicht mehr am Mikroskop befestigt werden kann und deshalb auf einem Reiter knapp vor dem Mikroskop aufgestellt wird. Vor ihm (der Lichtquelle zu), und zwar in der Nähe seiner vorderen Brennebene, stellt man dann auf einem zweiten Reiter eine Irisblende auf, die hier die Rolle der Aperturblende übernimmt. Bei den großen Apparaten der Firma LEITZ ist statt eines solchen Kondensors ein vertikaler Objektisch mit einem verschiebbaren großen Kondensor auf einem Reiter aufgestellt. Zu Aufnahmen von Übersichtsbildern mit Summaren und Mikrosommaren wird also hier das ganze Mikroskopstativ entfernt, das Objekt auf dem mit Gesichtsfeldblenden ausgerüsteten Objektisch befestigt und mit Objektiven abgebildet, die auf das Objektivbrett der Kamera aufgeschraubt werden (Abb 98). Zur Einrichtung gehört noch eine kleinere Kondensorlinse, die von rückwärts in die Tischöffnung einhangbar ist, weiter eine Vorsatzlinse zum Anschrauben an den Kollimator, entsprechend der Kollektorlinse der ZEISSschen Einrichtung. Bei stärkeren Mikrosommaren (24, 35 und 42 mm Brennweite) werden der

kleine und der große Kondensor zusammen benutzt, jedoch ohne Vorsatzlinse, bei den schwächeren Objektiven (den Summaren von 64, 80 und 100 mm Brennweite) benutzt man nur den großen Kondensor und rustet den Kollimator mit der Vorsatzlinse aus. Bei der LEITZschen Einrichtung kommen Brillenglaskondensoren selbstverständlich nur in Verbindung mit den schwachen Mikroskopobjektiven (Nr. 1—5) zur Verwendung.

Die Brillenglaskondensoren unterscheiden sich äußerlich von den anderen Kondensoren des ABBESchen Apparats nur wenig. Wie diese sind sie ebenfalls in Schiebrohre eingefast, die in die Schiebhülse des ABBESchen Apparats hineinpassen. Sie unterscheiden sich voneinander durch ihre verschiedenen Brennweiten, welche den Brennweiten der mit ihnen benutzten anastigmatischen Objektive angepaßt sind. So stellt die Firma ZEISS Brillenkondensoren von  $10\frac{1}{2}$ ,  $7\frac{1}{2}$ , 5, 4,  $3\frac{1}{2}$  und 2 cm Brennweite her, den Planarien 100, 75, 50, 35, 20 und dem Mikrotar 35 mm Brennweite entsprechend. Die größeren Brillenglaskondensoren (10 und  $7\frac{1}{2}$  cm) haben eigene Schiebrohre, die kleineren (5—2 cm) ein gemeinsames Schiebrohr, auf das sie aufgeschraubt werden. Ähnliche Form und Konstruktion weisen auch die Brillenglaskondensoren der Firma

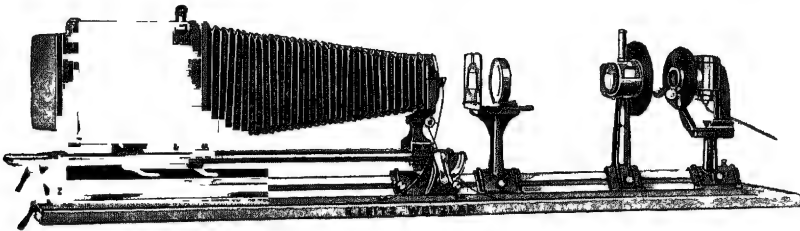


Abb. 98. Der große mikrophotographische Apparat „Uma“ der Firma L. LEITZ mit einem Summar ausgerüstet. (Aus LEITZ Druckschrift Nr. 49 G.)

LEITZ auf (ein kleiner für die Obj. 3a und 4 und ein großer für die Obj. 1 und 2), ebenso der Brillenglaskondensor I der Firma REICHERT für Obj. von 8—40 mm Brennweite und der Brillenglaskondensor II für Obj. von 40—70 mm Brennweite. Wie aus den Tabellen 21 und 22 nach ROMEIS ersichtlich ist, werden die Brillenglaskondensoren auch bei Aufnahmen mit schwachen achromatischen und apochromatischen Objektiven als Beleuchtungslinsen benutzt. Die Aufstellung bei den verschiedenen Typen der großen mikrophotographischen Apparate und die Verwendung der verschiedenen Kombinationen, aus Zentrierlinsen und Hilfskollektoren oder Kollimatoren je nach der Brennweite des Objektivs und des Brillenglaskondensors, sollen hier nicht eingehender beschrieben werden, da die technischen Einzelheiten bei jedem Typ anders sind und am besten den Gebrauchsanweisungen der Herstellungsfürmen (ZEISS, LEITZ, REICHERT usw.) zu entnehmen sind (vgl. z. B. Tabelle 16).

In welcher Weise und mit welcher Vorkehrung man auch die Beleuchtung des Gesichtsfeldes bei solchen schwachsten Vergrößerungen erzielt, soll man stets darauf achten, daß man die Kollektorblende (bzw. die Irisblende vor dem Kondensor 20 der Firma ZEISS), welche hier als Aperturblende wirkt, nicht stärker emenge, als es für die gleichmäßige und volle Beleuchtung des Sehtfelds erforderlich ist. Arbeitet man mit Brillenglaskondensoren, so bringt man diese mit dem ABBESchen Apparat bis zur Tischöffnung und stellt dann das Objektiv auf das Präparat ein. Meistens ist damit schon die günstige Beleuchtung des Sehtfelds erreicht. Ist das aber nicht der Fall, so ändert man nichts an der Stellung des Brillenglaskondensors, sondern trachte durch geringe Verschiebungen des Kondensors 20 oder des Kollektors (bzw. Hilfskollektors oder der diesem ent-

sprechenden Beleuchtungslinsen anderer Firmen) den Strahlengang zu verbessern.

Die schwachsten anastigmatischen Objektive mit Brennweiten von und über 100 mm benutzt man ohne Mikroskopstativ und Trichter, weil sie selbst für den breiten Tubus zu groß sind (Mit der auf S 190 beschriebenen Einrichtung kann jedoch Mikroplanar 100 mm am Mikroskopstativ befestigt werden.)

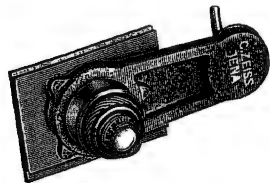


Abb 99 Einstellvorrichtung für die an dem Objektivbrett angeschraubten Objektive (Aus ZEISS-Druckschrift Mikro 401)

Sie werden also auf das Objektivbrett der Kamera geschraubt, entweder unmittelbar (Mikropolar 100) oder mit Hilfe eines Zwischenringes (Abb 99), der auch als Einstellvorrichtung dient (Mikroplanar 100 und Mikroluminar 100). Gebraucht man noch schwächere Objektive, etwa mit einer Brennweite von 150 mm und mit dem Öffnungsverhältnis 1:6,3, so benutzt man die entsprechenden photographischen Objektive ELSNER v. GRONOW (1, 2, 3) empfiehlt die Verwendung von Teleobjektiven, um bei gleichem Kameraauszug und gleicher Vergrößerung

vom Objekt weiter entfernt bleiben zu können (z. B. bei Aufnahmen von Objekten in Flüssigkeitsbehältern). Die Aufnahmeeinrichtung ohne Mikroskopstativ wird meistens bei Vergrößerungen angewandt, die dem Wert 1 sehr nahe liegen (1–5fach). Oft wird dabei ein langer Kameraauszug (1–1½ m) nötig sein, um das vom Objektiv gehetzte große Sehfeld voll auszunutzen. In

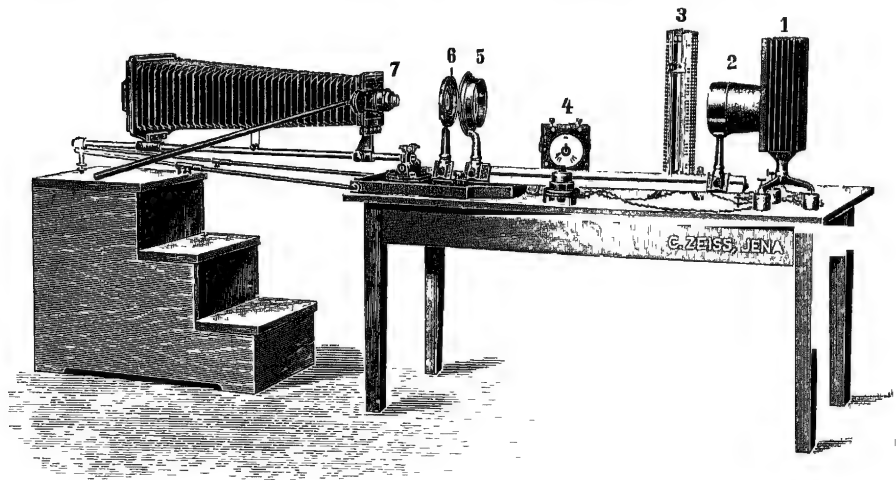


Abb 100 Horizontal Vertikalkamera der Firma C. ZEISS zur Aufnahme großer Objekte mit einem photographischen Objektiv (z. B. Tessar 1:6,3) und mit Einstellvorrichtung ausgerüstet.  
1 = Lampe, 2 u. 5 = Beleuchtungslinsen, 6 = Irisblende, zugleich als Träger für die Objekte, 7 = Objektiv (Aus ZEISS-Druckschrift Mikro 401)

solchen Fällen muß man dann mit einer Feineinstellung auf der Mattscheibe einstellen. Auf den Zwischenring, der das Objektiv trägt, wird eine Einstellvorrichtung nach Art des Hookeschen Schlüssels (S. 157) befestigt, die mit einem Stab von der Mattscheibenebene her betätigt wird. Diese Einstellvorrichtung benutzt man (in Verbindung mit den großen mikrophotographischen Apparaten der Firma ZEISS), wenn die Vergrößerung nicht ganz nahe bei 1 liegt (Abb 100). Je geringer jedoch die Vergrößerung wird, um so weniger ändert

die Verschiebung des Objektivs etwas an der Scharfe des Bildes, dafür andert sie jedoch die Vergrößerung. Um also das Objektiv auf das Objekt scharf einstellen zu können, ohne an der Tubuslänge oder an der Vergrößerung etwas zu ändern, stellt man die ganze Kamera durch Verschiebung der Laufstange mit den Rollen (s. S. 152) dem Objekt näher, oder man entfernt sie von ihm. Dazu ist allerdings nur die große Horizontalkamera geeignet.

Der Nachteil der Feineinstellung läßt sich nach L. SCHABADASCH (1) vermeiden, wenn man photographische Objektive mit einer kleinen Brennweite und einem großen Winkel benutzt. Ein solches Objektiv wurde von der Firma GOERZ unter der Bezeichnung Hypergon hergestellt. Mit dem Hypergon läßt sich z. B. bei 45 cm Kameraauszug und bei 5facher Vergrößerung eine Bildgröße von 14 cm  $\times$  18 cm erzielen. Das Objektiv wurde also in erster Reihe für kleine Vertikalkameras in Betracht kommen.

**78 Die Objekthalter.** Es wurde soeben erwähnt, daß beim großen mikrophotographischen Apparat der Firma LEITZ die Aufnahmen mit den Mikrosommarien und Sommarien in der Regel ohne Mikroskopstativ nur mit den an der Kamera befestigten Objektiven erfolgen (vgl. Abb. 98 u. 100), wobei das Objekt auf einem besonderen Objektisch aufgestellt wird. Andere mikrophotographische Apparate haben zu diesem Zweck andere Einrichtungen. Sind die Objekte große Organschnitte (z. B. Gehirnschnitte), so wird man sie vor der waagerechten Kamera mit Klemmen auf einer Irisblende befestigen. Bei vertikaler Anordnung eignen sich dafür einfache

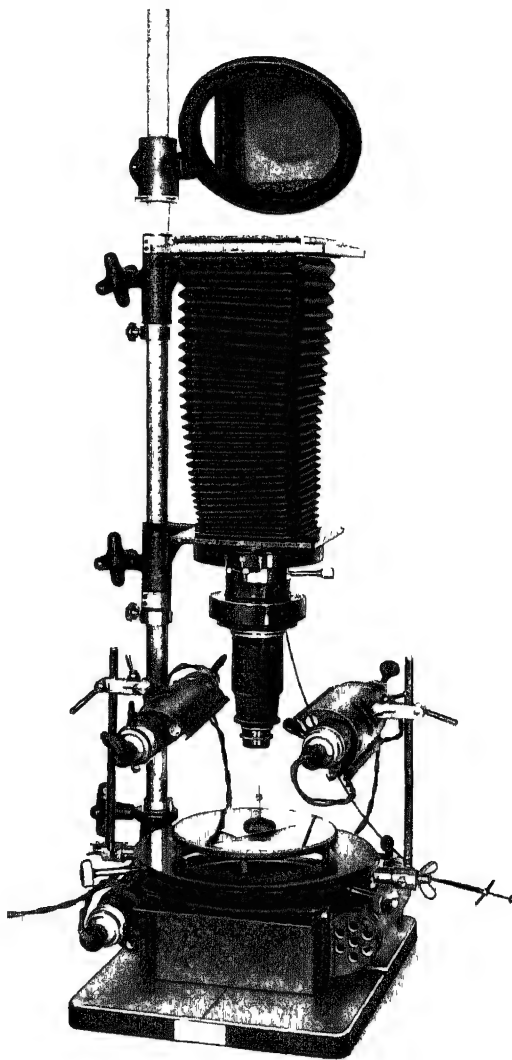


Abb. 101. Aufnahmetisch nach B. ROMETS der Firma C. REICHERT

Lupenstative mit einer Glasscheibe als Tischplatte oder in ähnlicher Form improvisierte Objektische. Die improvisierte Unterlage muß jedenfalls so hoch sein, daß man einen Spiegel oder die reflektierende mattierte Fläche aus Glas, Gips, Papier usw. unterbringen kann. Am besten eignen sich dazu eigens für diesen Zweck angefertigte Aufnahmetische, z. B. der Aufnahmetisch der Firmen BUSCH, LEITZ oder der nach den Angaben von B. ROMETS von der Firma REICHERT

hergestellte Aufnahmetisch (Abb 101) Dieser letztere hat einen parabolisch gebogenen Boden und eine Spiegelglasscheibe als Tischplatte Die Beleuchtung erfolgt durch seitlich aufgestellte Soffitenlampen, deren Licht die parabolische Bodenfläche vollkommen diffus auf die Tischplatte wirft Die Tischplatte kann gegen Blendeneinsätze mit verschiedenen großen Ausschnitten ausgetauscht werden, welche bei Schnittpräparaten das Gesichtsfeld schärf begrenzen, bei sonstigen Objekten aber (s weiter unten) eine gute Möglichkeit bieten, die Petrischalen<sup>1</sup>, Uhrglaser und ähnliche Behälter direkt, d h ohne die störende Glasplatte, aufzustellen Ein solches Aufnahmetischchen ist anderen Improvisationen schon aus dem Grunde vorzuziehen, weil man damit das Objekt in gunstigster Weise beleuchten kann, was sonst oft große Schwierigkeiten bereitet (s S 223)

Die Beleuchtung des Objekts erfordert bei Aufnahmen mit schwachsten Vergrößerungen ein großes und gleichmäßiges Leuchtfeld Die geschilderten Beleuchtungseinrichtungen der großen Apparate (s S 154) liefern natürlich auch in solchen Fällen ein brauchbares Leuchtfeld, das in die Öffnung des Objektivs (an der Kamera) geworfen wird Bei den großen Apparaten von ZEISS benutzt man zwei sphärische Linsen, von denen die eine knapp vor dem Objekt steht (Linse II) und die andere (Linse I) knapp hinter der Lichtquelle so, daß diese in ihrer Brennebene steht (Abb 100 bei 2 u 5) Der Abstand der beiden Linsen voneinander ist innerhalb weiter Grenzen gleichgültig, da die Strahlen zwischen ihnen etwa parallel laufen Die Linse I wirft nun den Lichtstrom in die Öffnung der Linse II, und diese bildet die Lichtquelle in der Öffnung des Objektivs ab

Die Öffnung der schwachsten anastigmatischen Objektive ist (s S 186) durch eine eingebaute Irisblende regulierbar Zieht man also diese Blende etwas zusammen, so wird die Bildscharfe größer Man muß jedoch beachten, daß bei der ZEISSschen Beleuchtungsanordnung die Linsen I und II nur auf die sphärische, nicht aber auf die chromatische Abweichung korrigiert sind es können daher farbbige Flecke im Gesichtsfeld auftreten, namentlich dann, wenn die Öffnung des Objektivs so klein ist, daß nur gewisse Strahlen des Beleuchtungskegels durchtreten können, andere aber nicht Dieser Fall tritt meistens auf, wenn man die Irisblende des Objektivs eng zusammenzieht, während man mit einer Lichtquelle von geringem Durchmesser beleuchtet Ist die Leuchtfläche groß, wie z B bei vorgeschalteter Mattscheibe, so hat man von einer richtig eingegengten Blendenöffnung nur Nutzen

Bei der Beleuchtungseinrichtung mit den Linsen I und II wird das Leuchtfeld direkt von der Lichtquelle geliefert Eine Leuchtfeld- oder Aperturblende kommt nicht in Betracht, die leuchtende Fläche der Lichtquelle wirkt selbst als Aperturblende Als Lichtquelle wählt man am besten eine solche mit verhältnismäßig kleiner Fläche und großer Helligkeit, in erster Reihe also die Gleichstrom-Kohlenbogenlampe oder die Punktlichtlampe Ob man hinter der Lampe bzw vor der Linse II eine Mattscheibe einschalten soll oder nicht, hängt von der Beschaffenheit des Objekts und der Größe der Bildfläche ab Bei weniger durchsichtigen Objekten (z B bei Embryonen, die mit Kahlauge durchsichtig gemacht sind usw), schaltet man vor das Objekt am besten eine Milchglasscheibe, die von der Firma ZEISS zu diesem Zweck in einer Kondensorfassung geliefert wird Bei Aufnahmen mit einem großen Gesichtsfeld wird man ebenfalls immer eine Mattscheibe zwischen Lichtquelle und Linse I einschalten, um die schon erwähnten chromatischen Lichterscheinungen zu vermeiden

<sup>1</sup> Für Unterbringung von Petrischalen und ähnlichen Kulturgefäßen eignet sich auch recht gut der Objekthalter von R MÜLLER (I)

Bei den kleinen Vertikalkammern, die man zu den Aufnahmen mit schwachsten Vergrößerungen verwendet, erzielt man die gleichmäßig diffuse und dabei doch lichtstarke Beleuchtung entweder mit dem Aufnahmetisch von ROMEIS oder, wo ein solcher fehlt, mit einer großen Mattscheibe, einer Gipsplatte oder einem Blatt weißen Zeichenpapiers, die man in entsprechender Weise unterhalb des Präparats aufstellt. Solche matt reflektierenden Flächen müssen natürlich recht intensiv beleuchtet werden. Ratsam ist es, hinter dem Kollektor der Lampe noch eine Zerstreuungslinse (Hilfskollektor) aufzustellen, um das große Sehfeld voll auszuleuchten.

Aufnahmen bei den schwachsten Vergrößerungen werden in durchfallendem Licht hauptsächlich von großen Schnittpräparaten (Gehirnschnitten u. a.) angefertigt. Körperliche Objekte, z. B. mehr oder weniger durchsichtige pflanzliche oder tierische Körperteile, Plattenkulturen von Mikroorganismen (vgl. Abb. 96 u. 206), durchsichtige embryologische Präparate, Injektionspräparate, SPALTENHOLZsche Präparate usw., kommen jedoch ebenfalls dafür in Betracht. Zu diesen Aufnahmen eignet sich am besten die Vertikalkamera in Verbindung mit einem passenden Tischgestell. Der Aufnahmetisch von ROMEIS leistet gerade in solchen Fällen gute Dienste. Von großer Wichtigkeit ist es, die Unterlage für das Objekt richtig zu wählen, denn der Hintergrund des photographischen Bildes und der Kontrast im Bild ist stark von diesem Faktor abhängig. Stellt man die körperhaften Objekte auf die in ihrer ganzen Ausdehnung durchleuchtete Tischplatte auf, so wird man meistens einen mit Licht überfluteten Hintergrund und daher ein flaches Bild, zweitens aber störende Reflexe im Objekt erhalten, und schließlich kann von der großen leuchtenden Fläche der Glasplatte viel falsches Licht in das Objektiv gelangen. Man muß daher die durchsichtige Tischplatte mit Blendeneinsätzen aus Blech oder mit schwarzen Papiermasken bis auf einen angemessenen Ausschnitt abdecken. Der Aufnahmetisch von ROMEIS und der Objektisch der Firma LERTZ sind schon mit fertigen Blenden oder Blendeneinsätzen ausgerüstet. Bei anderen Vorrichtungen lassen sich solche leicht improvisieren. Stets ist zu beachten, daß die Ausschnitte der Blendeneinsätze gewissermaßen die Leuchtfeldblenden darstellen: sie dürfen also weder zu groß noch zu klein bemessen sein. Die richtige Größe ist dann getroffen, wenn, wie bei der Leuchtfeldblende, der Rand des Ausschnitts sich mit dem Rand des vom Objektiv gelieferten Gesichtsfeldes deckt. Da kein lichtdichter Anschluß zwischen Kamera und Objekt vorhanden ist, empfiehlt es sich, in einem verdunkelten oder nur schwach beleuchteten Raum die Aufnahme vorzunehmen.

## II. Die Mikrophotographie bei Dunkelfeldbeleuchtung.

(Zusammenfassende Darstellungen über Ultramikroskopie und Dunkelfeldbeleuchtung bei M. BERLEK [1, 2, 4, 6], E. HOFFMANN [1], O. HEIMSTADT [2], F. JENIUSCH [1, 2], A. M. SCHIRMANN [1], H. SEDENTOFF [1, 2, 3, 15, 6, 7, 9] und H. ZOCHE [1].)

Die Ableitung der optischen Gesetze, von denen die Bilderzeugung im Dunkelfeld abhängt, gehört in das Gebiet der mikroskopischen Optik (s. zusammenfassende Darstellungen). Hier werden diese mikroskopisch-optischen Grundlagen als bekannt vorausgesetzt. Die allgemeinen Kennzeichen des Dunkelfeldbildes, soweit sie für die Mikrophotographie von Bedeutung sind, wurden schon auf S. 20 und 23 kurz erörtert. Es genügt daher jetzt, nur daran zu erinnern, daß bei einer extremen schiefen Beleuchtung das Auflösungsvermögen des Mikroskops und die Kontrastwirkung durch Erzeugung eines positiven Bildes wesentlich gefordert wird.



Abb 102 Ultramikroskopische Aufnahme von Rußteilchen, deren Größenordnung der Ausstrahlung der Beleuchtung (PERRINSche Methode) zwischen 1500 und 10000 m $\mu$  entspricht (vgl. S. 217). Hom. Imm. 21550 $\times$ , 6 $\times$  Obj. Ap. 0,85, Komp. Ok. 15fach, Kammerlänge 41 cm, Bildvergr. 970fach Paraboloid-Wechselkondensor, Belichtungszeit 2 1/2 Min.



Abb 103 Gezeichnete Blut Monozyt mit einer Spinothate, welche in die Zelle rechts oben gerade eindringt. Licht Obj. 1/10 A. Fluor. 70fach, num. Ap. 1,3. Ok. 6fach, bixentrischer Kondensor 1,2 A. Minica (Originalaufnahme von FR. HIMMELWEIT)

### 79. Die verschiedenen Arten der Dunkelfeldmikroskopie

Nach den Zielen, die man dabei verfolgt und nach der Größenordnung der abzubildenden Formelemente unterscheidet man zwei Arten der Dunkelfeldmikroskopie die Ultramikroskopie und die Dunkelfeldbeleuchtung mikroskopischer Formgebilde. Bei der Ultramikroskopie bezeichnet man das Verfahren, wenn die Formelemente, die im positiver Bild dargestellt werden, im Hellfeld selbst bei der stärksten Apertur der Abbildung nicht mehr sichtbar sind. Diese ultramikroskopischen oder submikroskopischen Formelemente (in der Größenordnung zwischen 0,1 und 100 m $\mu$ ) bezeichnet man als Ultrateilchen oder Submiktionen (Abb 102). Sie bilden die letzten noch sichtbaren Elementarheiten von kolloidalen Strukturen. Bei der Dunkelfeldbeleuchtung mikroskopischer Formgebilde handelt es sich weniger um eine solche starke Steigerung des Auflösungsvermögens. Die Formelemente des Objekts sind auch im Hellfeld schon optisch auflösbar. Die Dunkelfeldbeleuchtung schafft hier hauptsächlich die günstige Kontrastwirkung, bei welcher außerst zarte Formen und Strukturen (S. Abb 103) besser sichtbar werden als das im Hellfeld der Fall ist.

Die Ausschaltung der Streulichtstrahlen (S. 23) erfolgt entweder mit einer extremen, einseitig-schiefen Beleuchtung (orthogonaler Beleuchtung, Dunkelfeldbeleuchtung mit be-

leuchtung (orthogonaler Beleuchtung, Dunkelfeldbeleuchtung mit be-

schränktem Azimut), bei welcher die optische Achse des schmalen Beleuchtungskegels senkrecht (orthogonal) auf die optische Achse des abbildenden Systems gerichtet ist oder aber so, daß man aus einem mit der optischen Achse des abbildenden Systems koaxialen und weit geöffnetem Lichtstrom die Beleuchtungsstrahlen der Objektöffnung proportional ausblendet und das Objekt von allen Seiten nur mit den schiefen Randstrahlen beleuchtet (koaxiale, allseitig-schiefe oder ringförmige Beleuchtung). In beiden Fällen ist bei richtiger Gestaltung des Strahlenganges der unmittelbare Einfall von Beleuchtungsstrahlen in die Öffnung des Objektivs verhindert. Es können sowohl bei der orthogonalen wie bei der schiefen Richtung der Beleuchtungsstrahlen nur solche in das Objektiv gelangen, welche durch Beugung oder Brechung am Objektgefuge von ihrer ursprünglichen Richtung in die Öffnung des Objektivs gelenkt wurden. Eine dritte Möglichkeit, die Sehfeldbeleuchtung vollständig

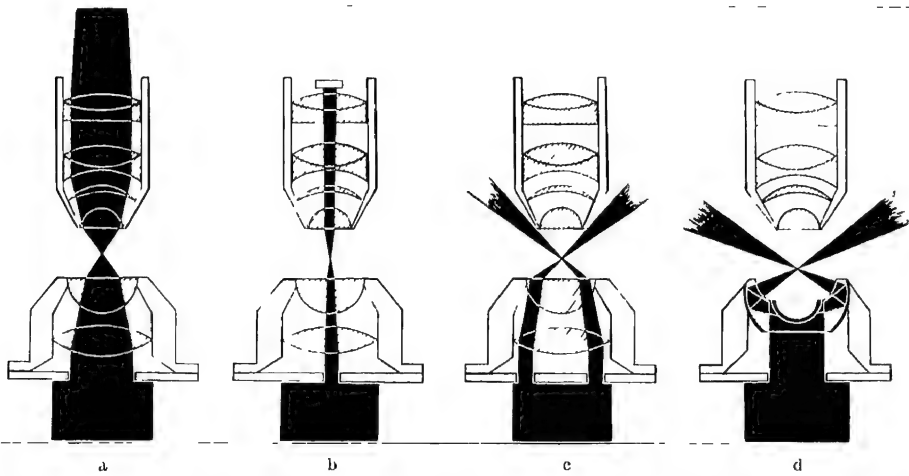


Abb 104 Strahlengang bei der Hellfeldbeleuchtung und den verschiedenen Arten der Dunkelfeldbeleuchtung a Hellfeldbeleuchtung, b Dunkelfeldbeleuchtung mit abgeblendetem Objektiv, c Dunkelfeldkondensor mit Zentralblende, d bizentrischer Kondensor (Aus W. J. ANKLE [1, Abb 2])

auszuschalten, besteht darin, daß man zwar den ganzen Lichtstrom in die Eintrittspupille des Objektivs gelangen läßt, den zentralen Teil der Austrittspupille jedoch so weit abblendet, daß die Sehfeldstrahlen bei der Erzeugung des Zwischenbildes nicht mitwirken können (s Abb 104)

Die Dunkelfeldbeleuchtung wird allgemein nur mit den zwei erstgenannten Beleuchtungsarten erzielt, d. h. mit dem Spalt-Ultramikroskop und den Dunkelfeldkondensoren

**80. Das Spalt-Ultramikroskop** Wie aus der Abb 105 ersichtlich wird hier das Licht einer Bogenlampe oder eines Helostaten durch ein Fernrohrobjektiv (*f*) auf eine Spaltblende gesammelt, deren Spaltweite und Spaltlänge durch Schrauben regulierbar sind. Eine zweite Fernrohrlinse (*h*) bildet den ausgeleuchteten Spalt in der Ebene des als Kondensor benutzten Mikroskopobjektivs (*m*) ab. Die optische Achse des letzteren steht zur optischen Achse des Mikroskops (*i*) senkrecht. Mit Feinschrauben wird dann der Kondensor auf die zu untersuchende Schicht des Objekts (im Behälter *l*) genau eingestellt. Das so erzeugte Leuchtfeld ist das 36fach verkleinerte Bild des Spaltes. Je enger der Spalt ist, um so dünner wird die beleuchtete Objektschicht. Durch entsprechende Regelung der Spaltweite erzielt man also eine Beleuchtung in einem optischen



Querschnitt des Objekts Die zu dieser Art der Ultramikroskopie geeignetste Beleuchtung mit einem schmalen Strahlenkegel erhält man bei Verringerung der Spaltlänge

Das vom Spalt-Ultramikroskop gelieferte Dunkelfeldbild zeichnet sich durch seine große Lichtstärke<sup>1</sup> und die sehr weitgehende optische Auflösung aus Die Lichtstärke ist durch die Helligkeit der Lichtquelle, die num Apertur des Kondensors und die num Apertur des Mikroskopobjektivs bestimmt Die optische Auflösung hängt selbstverständlich ebenfalls von der num Apertur des Beobachtungsobjektivs ab, sie wird aber durch den orthogenalen Lichteinfall in die Objektebene wesentlich gefordert Den theoretischen Forderungen wird in vollkommenster Weise durch eine Beleuchtung mit dem Spalt-Ultramikroskop Genüge geleistet Diese für die Dunkelfeldbeleuchtung so günstige Anordnung läßt sich jedoch nur auf Untersuchungsgegenstände anwenden, welche in der erforderlichen Höhe und mit der notwendigen Schichtbreite zwischen Beleuchtungs- und Beobachtungsobjektiv unterzubringen sind Die mikroskopischen

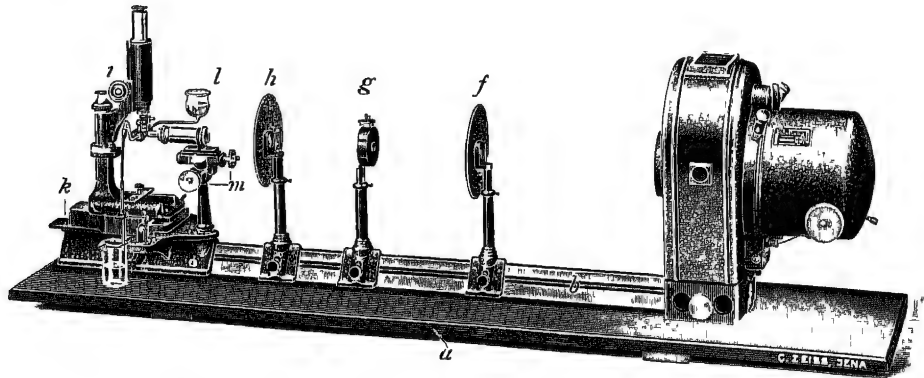


Abb 105 Das Spalt-Ultramikroskop nach SIEDENTOPF und ZSIGMONDY

Präparate eignen sich in ihrer üblichen Form aus diesem Grund zur Abbildung mit dem Spalt-Ultramikroskop nicht Vorzugsweise untersucht man dagegen so Flüssigkeiten (Kolloide, Suspensionen und Emulsionen), die man in einem Behälter von besonderem Bau in den Strahlengang stellt (s Abb 105) Feste, durchsichtige Gegenstände (trockne Gallerte, Glas, Kristalle usw.) können ebenfalls zwischen Beleuchtungs- und Beobachtungsobjektiv aufgestellt werden, wenn sie eine Würfelform oder mindestens zwei planparallele Flächen haben Sie müssen dann in der entsprechenden Höhe ausgeuchtet am Mikroskopisch aufgestellt werden, was am zweckmäßigsten mit einem heb- und senkbaren Mikroskopobjektisch erfolgt

**81. Die Dunkelfeldkondensoren** Die zweite, derzeit am meisten verbreitete Art der Dunkelfeldbeleuchtung ist die allseitig schiefe, koaxiale oder ringförmige Beleuchtung mittels der Dunkelfeldkondensoren (Abb 106) Über die geschichtliche Entwicklung der Methode erhält man die gewünschten Auskünfte am besten aus H SIEDENTOPF (3)

a) Die verschiedenen Formen der Dunkelfeldkondensoren und ihre optischen Eigenschaften Der Grundplan jedes Dunkelfeldkondensors ist so angelegt, daß 1 die Sehfeldstrahlen im mittleren Bereich des Lichtstroms

<sup>1</sup> Die Kardiodkondensoren liefern jedoch ein noch lichtstärkeres Bild (vgl H SIEDENTOPF [4])

ausgeblendet werden, 2 die zu den Gliedern des Kondensors gelangenden Randstrahlen unter großen Winkeln gegen die optische Achse des Mikroskops gelenkt werden und sich hier in einem sehr engbegrenzten, fast punktförmigen Raum (im Brennfleck) schneiden (Abb 106). Je vollkommener die Sehfeldbeleuchtung ausgeschaltet ist, um so stärker tritt die Kontrastwirkung in Erscheinung, je größer der Neigungswinkel ist, den die auf das Objekt konzentrierten Randstrahlen mit der optischen Achse des Mikroskops einschließen, d. h. je größer die Öffnungswinkel der beleuchtenden Strahlenbündel und die Apertur des Kondensors ist, um so heller und stärker aufgelöst erscheinen die Bildelemente. Von der Güte der Strahlenvereinigung in der Schnittebene (im Brennfleck) hängt dann die Schärfe der Abbildung und die Tiefenschärfe ab. Selbstverständlich spielen die Eigenschaften des abbildenden Systems, der Korrektionszustand und die Num. Apertur der Objektive auch hier die gleiche Rolle wie in der Hellfeldmikroskopie. Während jedoch dort die Abbildungsschärfe (und Tiefenschärfe), die optische Auflösung und die Objektähnlichkeit in der Hauptsache von den Faktoren der Abbildung und in weit geringerem Grad von denen der Beleuchtung abhängig sind (vgl. S. 14 ff.), üben in der Dunkelfeldmikroskopie die Faktoren der Beleuchtung, der Korrektionszustand und die gleich zu erwähnenden Aperturbereiche der Dunkelfeldkondensoren auf die Eigenschaften des Bildes einen entscheidenden Einfluß aus.

Den Forderungen, die man einem Dunkelfeldkondensor gegenüber zu stellen pflegt, entsprechen am besten die Spiegelkondensoren, wo die Randstrahlen der Beleuchtung von spiegelnden Flächen des Kondensors in die Schnittebene gelenkt werden. Nach der Form der spiegelnden Flächen unterscheidet man kugelförmige, paraboloid- oder kardioide Spiegelkondensoren. Die Strahlenvereinigung ist bei den kardioden Spiegelkondensoren die beste, bei den paraboloiden weist sie Abweichungen von der punktförmigen Strahlenvereinigung in geringerem, bei den einfachen kugelförmigen Kondensoren jedoch in höherem Maße auf. Die meistgeeigneten Kondensoren zur Mikrophotographie im Dunkelfeld sind deshalb die Paraboloid- und die Kardioidekondensoren oder die ihnen gleichwertigen bizentrischen Kondensoren.

Der Winkel, den die Randstrahlen mit der optischen Achse einschließen und von welchem die Apertur des Kondensors bedingt ist, hängt nicht allein von der

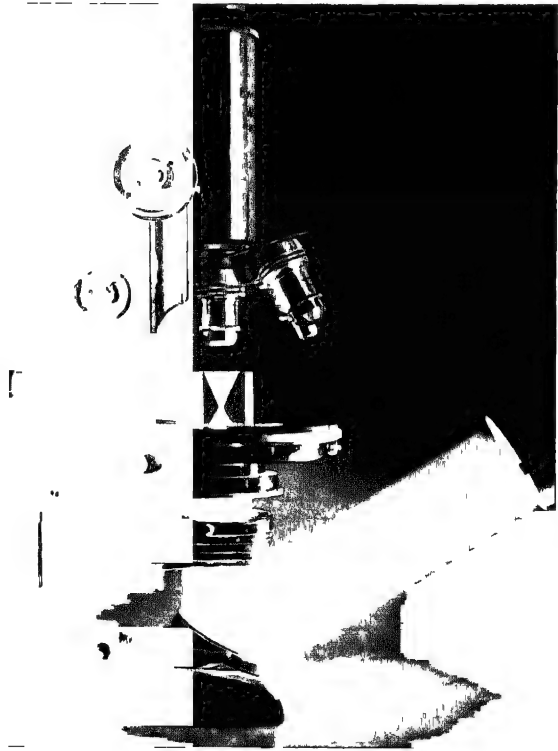


Abb. 106. Strahlengang im Dunkelfeldmikroskop. Der Strahlengang oberhalb des Kondensors wird durch einen Glaswürfel sichtbar gemacht. (Aus W. F. ANKER [1] Abb. 1.)

Form, sondern auch von der Anzahl der Spiegelflächen ab, feiner von der Brechungszahl des Mittels zwischen Kondensor und Objekt und schließlich von der Größe des Kondensordurchmessers. Dieser letzterwähnte Faktor wird allerdings nur in Ausnahmefällen eine praktische Rolle spielen (z. B. beim großen Gas-kondensor der Firma C. ZEISS, s. S. 211). Am zweckmäßigsten erzeugt man einen extrem schiefen, fast streifenden Einfall der Randstrahlen durch Anordnung von zwei spiegelnden Flächen hintereinander so, daß die in den Kondensor eingetretenen achsenparallelen Strahlen an der ersten Spiegelfläche erst von der optischen Achse

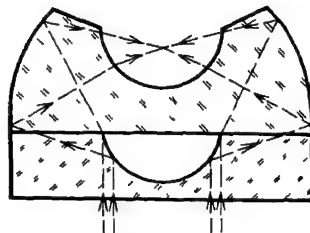


Abb. 107 Strahlengang im Ultra-kondensor (konzentrischem Kondensor nach JENTZSCH) (Aus H. ZOCHER [7], Abb. 348)

weg auf die zweite Spiegelfläche — und nun von hier mit einem großen Einfallswinkel zur optischen Achse in die Schnittebene gelenkt werden (Abb. 107 u. 108). Solche Kondensoren, wo also die Randstrahlen hintereinander an zwei kugelförmigen oder kardiodförmigen Flächen Spiegelungen erfahren, bezeichnet man als zweiflächige (bizentrische) oder Zweispiegelkondensoren. Hierher gehören die bizentrischen Kondensoren der Firma E. LEITZ (vgl. F. JENTZSCH [1] und M. BERKE [2]) und die Kardiodkondensoren der Firma C. ZEISS (der Kardiodkondensor und der Leuchtfeldkondensor).

Diese stellen die vollkommenste Form der Dunkelfeldkondensoren mit den größten Aperturen dar. Eine Apertur über 1 ist auch hier nur mit einer unteren Immersion erzielbar. Die sog. Trockenkondensoren, welche nur ohne untere Immersion brauchbar sind, wie z. B. die Präparier-Wechselkondensoren (s. S. 210), haben durchwegs geringere Aperturen als die sog. Immersionskondensoren. Die untere Immersion hat jedoch hier nicht nur auf die Num. Apertur eine fordernde Wirkung, sondern auch auf die Deutlichkeit

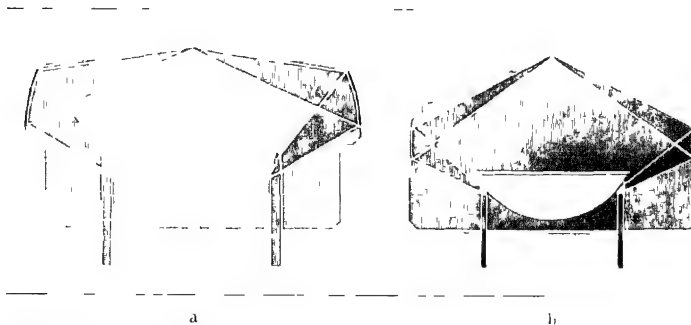


Abb. 108 Strahlengang im Leuchtfeld-Kondensor (a) und im kardiodkondensor (b) nach H. SIEDENTOPF (Aus H. ZOCHER [7], Abb. 350)

des Dunkelfeldbildes, da sie vor Spiegelungen schützt, welche beim streifenden Gang der Randstrahlen an der Tragglass- oder Deckglasfläche auftreten könnten. Die zweiflächigen Kondensoren liefern überhaupt nur mit einer unteren Immersion ein brauchbares Bild.

Als Immersionsflüssigkeiten benutzt man dieselben, welche schon bei den Immersionslinsen genannt wurden (s. S. 34 und 52). Auch die Maßregeln bei ihrem Gebrauch sind die gleichen. Es kann höchstens nur noch hinzugefügt werden, daß bei der starken optischen Auflösung und Kontrastwirkung im Dunkelfeld schon ganz geringe Verunreinigungen in der Immersionsflüssigkeit oder an den Glasflächen des Kondensors und des Präparates stark störend bemerkbar

werden. Es ist deshalb auf die optische Reinheit der Immersionsflüssigkeit und der zur Präparatenherstellung benutzten Gläser genauestens zu achten<sup>1</sup>.

b) Die verschiedenen Aperturbereiche eines Dunkelfeldkondensors. Die Öffnung des Dunkelfeldkondensors wird durch die Zentralblende in zwei Bereiche geteilt, deren Bedeutung hier kurz geschildert werden soll. Der abgeblendete Bereich in der Mitte der Kondensoröffnung ( $a_z$ ) muß zur Öffnung des Mikroskopobjektivs ( $a_0$ ) in einem durch den Durchmesser der Zentralblende festgesetzten Verhältnis stehen, und zwar muß stets  $a_z > a_0$  sein. Ist nämlich  $a_z = a_0$ , so wird die Beleuchtungsanordnung gegen kleinste Störungen, die durch die Objektschicht, die Deckglasdicke oder die Spiegelstellung verursacht sind, überaus empfindlich. Ist aber  $a_z > a_0$ , so schaltet man aus der Gesamtapertur des Kondensors ( $a_k$ ) mehr heraus, als die Objektivapertur beträgt. Die Differenz  $a_z - a_0$  ergibt den sog. toten oder unausgenutzten Aperturbereich. Was nun von der Öffnung des Kondensors zum Eintritt der Randstrahlen übrigbleibt ( $a_k - a_z$ ), heißt die nutzbare oder wirksame Apertur, welche bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines Dunkelfeldkondensors in erster Reihe maßgebend ist. Sie wird durch zwei Zahlen gekennzeichnet, von denen die eine die untere Grenzapertur, d. h. die Größe des toten Aperturbereiches ( $a_z$ ), die andere die obere Grenzapertur, d. h. die Gesamtapertur oder die ganze Öffnungsgröße des Kondensors ( $a_k$ ) angibt. Je geringer der Unterschied zwischen unterer und oberer Grenzapertur ist, um so enger bemessen ist der wirksame Aperturbereich. Demzufolge erhält man dann sehr schmale Bündel der schiefen Randstrahlen, was für die Strahlenvereinigung zwar recht vorteilhaft, in bezug auf die Helligkeit der Bildelemente jedoch ungünstig ist. Je größer wiederum der tote Aperturbereich ist, um so reiner und dunkler wird der Hintergrund, den man mit der Dunkelfeldbeleuchtung erhält. Die günstigsten Bedingungen wird man also von einer solchen optischen Anordnung erhalten, wo die Gesamtapertur des Kondensors beträchtlich größer ist als die Apertur des Objektivs, wo folglich die Größenunterschiede zwischen Objektivapertur und totem Aperturbereich, zwischen unterer und oberer Grenzapertur gut ausgeprägt sind. So günstige Verhältnisse hat man verständlicherweise nur beim Gebrauch von Objektiven mit einer entsprechend beschränkten Apertur. Die stärksten Apochromate mit den num. Aperturen 1,35—1,4 sind zur Dunkelfeldmikroskopie auch mit den stärksten Kondensoren im allgemeinen nicht geeignet<sup>2</sup>. Die optischen Werke liefern deshalb für ihre Dunkelfeldkondensoren zum Ersatz der stärksten Immersionsobjektive besondere Immersionslinsen, welche eine starke Einzelvergrößerung und eine dem Dunkelfeldkondensor angepaßte geringere num. Apertur haben. Besonders weitvoll sind unter diesen die starken Immersionslinsen mit einer Iris-Aperturblende (z. B. der Immersionsachromat 90fach [S. 35] oder der Immersionsapochromat 60fach [S. 36] der Firma C. ZEISS). Mit diesen läßt sich nämlich die Apertur der Abbildung der wirksamen Apertur des Kondensors am feinsten und genauesten anpassen.

<sup>1</sup> Das optische Zedernöl soll möglichst aus der gut verkorkten Flasche zur unteren und zur oberen Immersion entnommen werden. Vorteilhaft ist in vielen Fällen, namentlich bei Untersuchungen mit Trockenlinsen, statt Zedernöl Xylol oder nach besser Terpeneöl zur unteren Immersion zu nehmen. Trag- und Deckgläser sollen in Kaliumbichromat-schwefelsäure mit nachträglicher Wasserung in fließendem Wasser geputzt werden. Am besten läßt man sie an einem staubfreien Ort an der Luft trocknen. Um die Glasfläche sauber zu halten, überzieht man sie mit Kollodium (kaufliches Kollodium 1 Teil, Äther-Alkohol 3 Teile) und zieht das Kollodiumhäutchen erst vor der Präparatenherstellung mit einer spitzen Pinzette vom Tragglas und Deckglas herunter. Ofters geputzte Gläser sind tunlichst zu vermeiden.

<sup>2</sup> Mit dem Leuchtfeldkondensor (s. S. 206) kann man immerhin Objektive bis zur num. Apertur 1,3 einschließlich benutzen.

An dem folgenden Beispiel lassen sich die Beziehungen zwischen der num Apertur des Objektivs und den verschiedenen Aperturbereichen des Dunkelfeldkondensors noch klarer überblicken. Sei der Kondensor, mit dem die Dunkelfeldbeleuchtung erzeugt werden soll, ein Paraboloidkondensor mit dem wirksamen Aperturbereich zwischen 0,85 und 1,05. Stellt man das Bild mit einem mittelstarken Trockenobjektiv 40fach num Apertur 0,65 ein, so erhält man ein kontrastreiches lichtstarkes Bild mit einem tiefschwarzen Hintergrund. Der tote Aperturbereich (zwischen 0,65 und 0,85) ist zur Erzeugung des dunklen Hintergrundes — und die Weite des wirksamen Aperturbereiches zur Erzeugung hell leuchtender Bildelemente in gleichem Maße günstig bemessen. Wird aber das Bild mit einem anderen Trockenobjektiv von der höheren num Apertur 0,80 eingestellt (z. B. dem Trockenapochromat 40fach, num Apertur 0,95, wo die Apertur durch eine Innenblende auf 0,80 beschränkt ist), so erhält man bei derselben Vergrößerung und optischen Auflösung ein ebenso lichtstarkes Bild, jedoch mit einer weit ungünstigeren Kontrastwirkung. Die Helligkeit der Bildelemente bleibt dieselbe

wie früher, weil auch die wirksame Apertur des Kondensors (zwischen 0,85 und 1,05) dieselbe geblieben ist. Der tote Aperturbereich ist jedoch wesentlich kleiner geworden (0,85—0,8) und reicht nicht mehr aus zur Erzeugung eines tiefschwarzen Hintergrundes.

Abb. 109. Dunkelfeldaufnahmen mit dem Leuchtfeldkondensor und dem Immersionsapochromat num Ap. 1,30. Ausstrichpräparat mit roten Blutzellen und der *Spirochaeta pallida*. Bei a ist die Apertur des Objektivs auf num Ap. 0,85 abgeblendet, bei b ist die Aufnahme bei der vollen Apertur ausgeführt (Aus ZEISS-Druckschrift Mikro 406.)

Objektive mit einer höheren Apertur als 0,85 können mit dem beispielsweise angeführten Kondensor überhaupt

nicht benutzt werden. Zu solchen muß man dann Dunkelfeldkondensoren mit einer wirksamen Apertur zwischen 1,05 und 1,2 wählen, z. B. die Kardoidkondensoren oder die bizentrischen Kondensoren. Der tote Aperturbereich wird natürlich auch hier um so geringer, je mehr die Apertur des Objektivs sich der unteren Grenzapertur des Kondensors nähert. Bei Verwendung der stärksten Objektive muß man also auf die Zentrierung des Strahlenganges und auf die richtige Schichthöhe des Präparates genauestens achten. Für derartige Dunkelfelduntersuchungen werden deshalb die Kondensoren zweckmäßigerweise mit einer Zentriervorrichtung versehen oder in eine Zentriefassung eingesetzt<sup>1</sup>. Auch so wird man Objektive höchstens bis zur num Apertur 1,05 verwenden können. Noch stärkere Objektive bis zur num Apertur 1,3 einschließlich sind allein mit dem Leuchtfeldkondensor der Firma C. ZEISS und dem bizentrischen Kondensor D 1,4 der Firma E. LEITZ verwendbar. Mit den letztgenannten Kondensoren läßt sich also die höchste optische Auflösung bei einer allseitig schiefen Beleuchtung erreichen, allerdings nur bei Ausstrichpräparaten ohne Deckglas oder bei solchen, welche ohne Deckglas in einem ganz dünn ausgebreiteten Einschlußmittel mit der Brechungszahl  $n_D > 1,45$  eingebettet sind<sup>2</sup> (Abb. 109).

<sup>1</sup> Siehe für die Kardoidkondensoren die ZEISS-Druckschrift Mikro 407, für die bizentrischen Kondensoren die LEITZ-Druckschrift Mikro 2494.

<sup>2</sup> Siehe ZEISS-Druckschrift Mikro 406 und LEITZ-Druckschrift Mikro 2494.

c) Die Beziehungen zwischen Kondensorschnittweite und Objekzebene Bei einer orthogonalen Beleuchtung mit dem Spaltultramikroskop ist die Güte der Beleuchtung von der Schichtdicke des Objekts in verhältnismaßig weiten Grenzen unabhängig. Verwickelter sind die Verhältnisse bei der koaxialen oder ringförmigen Beleuchtung mit einem Dunkelfeldkondensor. Hier wirken stets drei Faktorengruppen engstens zusammen, nämlich 1 die Schnittweite des Kondensors und die räumliche Ausdehnung seines Brennfleckes, 2 die Tiefenschärfe des Objektivs und 3 die Schichthöhe des Objektes. Die Schnittweite des Kondensors, d. h. der Abstand der Strahlenvereinigungsstelle von der oberen Kondensorfläche ist um so kleiner, je schiefer die Randstrahlen in die Schnittebene fallen, je größer also die Num. Apertur des Kondensors ist<sup>1</sup>. Eine störungsfreie Dunkelfeldbeleuchtung erhält man aber nur von jener Objektschicht, welche genau in der Schnittebene des Kondensors liegt. Da die Dunkelfeldkondensoren mit der Einstellschraube des ABBESchen Beleuchtungsapparates in der Höhe ebenso verstellbar sind wie die Hellfeldkondensoren, kann man durch Heben oder Senken die Schnittebene genau in die zu beleuchtende Objekzebene einstellen, falls auch im Präparat die Bedingungen dafür vorhanden sind. Diese Bedingungen sind wiederum erfüllt, wenn die Tragglasdicke und die Höhe der eigentlichen Objektschicht der Schnittweite des Kondensors angepaßt sind. Bei Kondensoren mit großer Apertur und geringer Schnittweite, wie z. B. den Kardiodkondensoren, darf die Tragglasdicke höchstens 1,2 mm betragen und die Schicht zwischen Tragglas und Deckglas muß ganz dünn sein (etwa bis  $5\mu$ ). Bei den Paraboloidkondensoren und den bizentrischen Kondensoren D 1,20 AA kann die Gesamtschichthöhe des Präparates (Tragglas und Objektschicht) ungefähr 2 mm sein. Die Deckglasdicke hat nur insofern eine besondere Bedeutung, weil die von einer anormalen Deckglasdicke verursachten Abweichungen (S 133) im Dunkelfeld starker bemerkbar sind als im Hellfeld. Statt Trockenobjektive verwendet man deshalb vorteilhafter Immersionslinsen, bei denen die Deckglasdicke eine geringere Rolle spielt und auch die Störungen behoben sind, die sonst beim Austritt der Strahlen in die Luft durch Spiegelungen an der Deckglasfläche entstehen konnten.

Hat man so eine der Schnittweite des Kondensors angepaßte Schichthöhe und liegt die Schnittebene der Strahlen richtig in der Objektschicht, auf die das Objektiv eingestellt ist, so ist die Güte der Beleuchtung und die Deutlichkeit des Dunkelfeldbildes ferner noch von dem Verhältnis abhängig, in welchem die Tiefenschärfe des Objektivs zur räumlichen Ausdehnung der Strahlenvereinigungsstelle steht. Bei ganz dünnen Objektschichten und bei Kondensoren, deren Strahlenvereinigung fast punktförmig ist, hat man diesbezüglich die günstigsten Verhältnisse, denn das Objekt wird gewissermaßen nur in einer optischen Ebene beleuchtet, und von diesem allein erhält man Bildelemente mit einer gleichmäßigen Abbildungsschärfe. Die Tiefenschärfe des Objektivs hat also in solchen Fällen eine nebensächliche Bedeutung. Um so größer ist jedoch ihre Bedeutung in allen Fällen, wo die Strahlenvereinigung nicht punktförmig, sondern in Form eines mehr oder weniger ausgedehnten Brennfleckes erfolgt (s. Abb. 106), und ebenso dort, wo die Objektschicht verhältnismaßig hoch ist. In beiden Fällen werden nämlich die Formelemente des Objekts nicht bloß in einem optischen Querschnitt, sondern in mehreren übereinander gelagerten Ebenen beleuchtet, und ihre scharfe Abbildung ist von der Tiefenschärfe des Objektivs in hohem Maße abhängig. Hat das Objektiv eine geringe Tiefenschärfe, so erhält man nur von jenen beleuchteten Formelementen scharfe Bilder, welche genau in der Einstellebene des

<sup>1</sup> Auch bei den Hellfeldkondensoren mit starken Aperturen hat man eine ähnliche kurze Schnittweite. Hier ist es jedoch im allgemeinen nicht erforderlich, daß die Objekzebene genau in der Schnittebene des Kondensors liegen soll (s. S. 50).

Objektivs liegen, von den darüber oder darunterliegenden aber nur Zerstreuungsscheibchen<sup>1</sup> (s Abb 199) Deutliche Dunkelfeldbilder mit gleichmäßig scharfer Abbildung aller beleuchteter Formelemente erhält man unter solchen Verhältnissen nur bei genügend großer Tiefenschärfe des Objektivs. Schon aus diesem Grund wird man nicht vollkommen korrigierte Dunkelfeldkondensoren (z. B. die Einspiegelkondensoren) nur mit Objektiven benutzen, welche eine geringe numerische Apertur und dementsprechend eine größere Tiefenschärfe haben. Dasselbe gilt für die Dunkelfeldbeleuchtung von dickeren Objektschichten.

d) Die Azimutfehler. Fallen die Randstrahlen nicht aus allen Richtungen unter den gleichen Neigungswinkel in die Objektebene, sondern aus bestimmter Richtungen (Azimuten) schiefer, aus anderen wiederum steiler, so erhält man als häufigste Störung in der Dunkelfeldbeleuchtung den sog. Azimutfehler. Dieser wird bei sonst einwandfrei gebauten Dunkelfeldkondensoren vorwiegend dann entstehen, wenn die Beleuchtungsstrahlen nicht streng coaxial in die Kondensoröffnung fallen, d. h. wenn das Licht der Lampe nicht genau auf die Mitte des Mikroskopspiegels gerichtet ist. Man erzeugt dann eine fehlerhafte Mischform zwischen einer einseitig schiefen und einer allseitig schiefen Beleuchtung, bei welcher alle Formelemente der beleuchteten Objektschicht in einer bestimmter Richtung, und zwar senkrecht zur Richtung des exzentrisch einfallenden Lichtstroms langlich verzerrt und unscharf abgebildet erscheinen. Eine andere ähnliche Störung erhält man auch bei gut ausgerichtetem (coaxialem) Strahlengang, wenn die eingestellte Objektivenebene nicht genau in der Vereinigungsstelle der Beleuchtungsstrahlen, sondern oberhalb oder unterhalb dieser steht und so mit Strahlenbündeln von begrenzten aber entgegengesetzten Azimuten beleuchtet wird. Man erblickt dann ein Dunkelfeldbild, wo die Formelemente nach verschiedenen Richtungen langlich verzerrt sind, je nachdem aus welchem begrenzten Azimut sie Strahlen erhalten haben.

e) Die Handhabung der Dunkelfeldkondensoren. Um solche und ähnliche Fehler zu vermeiden, soll der Strahlengang von der Lichtquelle bis zur Eintrittspupille des Objektivs coaxial ausgerichtet sein. Man stellt also die Lichtquelle von möglichst großer Flächenhelligkeit (am besten eine Gleichstrombogenlampe<sup>2</sup>) vor dem Mikroskopspiegel (Planspiegel!) so auf, daß das Licht genau zentrisch auf die unter 45° geneigte Spiegelfläche falle (s Abb 106). Vorteilhaft ist, wenn die ganze Spiegelfläche gleichmäßig ausgeleuchtet ist und ebenso die Öffnung des Kondensors, die man im Spiegel gut beobachten kann. Die Abbildung der Leuchtfläche am Spiegel ist dagegen nicht ratsam.

Zur Prüfung der Lichtverhältnisse in der Objektebene eignet sich am besten eine Linsenfolge aus einem schwachen Objektiv und einem schwachen Okular. Man befestigt also das mit sorgfältig gereinigten Gläsern hergestellte Präparat am Objektisch und hebt den Kondensor, dessen obere Fläche (falls es sich um einen Immersionskondensor handelt) mit einem großen Tropfen Immersionsflüssigkeit bedeckt ist, bis zum Anschlag. Der dünne Spalt zwischen Tragglass und Kondensorfläche muß gleichmäßig und luftblasenfrei mit der Immersion ausgefüllt sein. Wird nun auf die Objektebene scharf eingestellt, so erblickt man im Sehfeld einen kleinen runden Lichtfleck, dessen Lage und die darin sichtbaren

<sup>1</sup> Im Hellfeld hat man natürlich die gleichen Verhältnisse nur bemerkt man im Dunkelfeld infolge der stärkeren Lichtwirkung der im positiven Bild hell leuchtenden Bildelemente den störenden Einfluß tiefer oder hoher liegenden Objektebenen unvergleichlich stärker als im Hellfeld.

<sup>2</sup> Für die subjektive Beobachtung und ebenso für Dunkelfeldaufnahmen mikroskopischer Formgebilde reicht auch die Lichtstärke der Niederdrucklampen und der Punktlichtlampen aus, zu ultramikroskopischen Aufnahmen ist jedoch das Bogenlicht am meisten geeignet.

Lichterscheinungen zur Beurteilung der Güte der Beleuchtung maßgebend sind. Zunächst sei bemerkt, daß bei einer und derselben Linsenfolge die Größe des Lichtfleckes von dem Korrektionszustand des Kondensors abhängig ist. Je genauer aplanatisch die Strahlenvereinigung erfolgt, um so kleiner ist bei der gegebenen mikroskopischen Vergrößerung der Lichtfleck und um so scharfer ist er von dem übrigen dunklen Teil des Sehfeldes abgegrenzt. Liegt er genau in der Mitte des Sehfeldes und ist er gleichmäßig hell, so ist sowohl die Zentrierung als auch die Einstellung des Kondensors richtig. Liegt der Lichtfleck jedoch im Sehfeld exzentrisch, so ist das ein Zeichen der mangelhaften Zentrierung, erscheint aber die Mitte des Lichtfleckes dunkel, so ist der Kondensor nicht vorschriftsmäßig auf die Objektebene eingestellt. Bei einer exzentrischen Lage dieser dunklen Stelle bringt man sie zunächst mit dem Spiegel in die Mitte des Lichtfleckes, dann hebt oder senkt man den Kondensor so weit<sup>1</sup>, bis der ganze Lichtfleck vom Licht gleichmäßig ausgefüllt ist. Schließlich muß man den Strahlengang der Abbildung und der Beleuchtung genau zueinander ausrichten, d. h. den Lichtfleck in die Mitte des Sehfeldes bringen. Dafür ändert man nichts mehr an der Spiegelstellung, sondern führt dieses mit Hilfe der Zentriervorrichtung des Kondensors oder mit der Zentriefassung aus. Dort, wo der Kondensor keine eigene Zentriervorrichtung oder Zentriefassung hat, muß das Objektiv zum Lichtfleck ausgerichtet werden. Das erfolgt am besten mit Objektiven in Schlittenwechslern.

f) Die Frage der Bildvergrößerung. Die starke Kontrastwirkung und die optische Auflösung im Dunkelfeld schaffen recht günstige Bedingungen für die weitere Vergrößerung des Zwischenbildes. Man kann deshalb durchweg stärkere Okulare benutzen als im Hellfeld, namentlich wenn die Bildelemente stark leuchten, wie das im Bogenlicht bei schwachen und mittelstarken Objektiven der Fall ist. Eine starke Okularvergrößerung ist oft auch deshalb schon erwünscht, weil die Spiegelungen und Lichtschleier, die von der Deckglasfläche oder von der ungünstigen Objektschichttiefe verursacht sind, bei der geringeren Helligkeit des stark vergrößerten Bildes weniger in Erscheinung treten.

Bei mikrophotographischen Aufnahmen läßt sich eine vorteilhafte Bildvergrößerung auf verschiedene Weise erzielen, je nachdem, ob man die Aufnahme mit einer Balgkamera oder einer Aufsatzkamera ausführt. Bei einer Balgkamera wählt man am besten ein mittelstarkes Okular (z. B. komp. Ok. 10fach oder peripl. Ok. 5fach) und erzeugt die weitere Bildvergrößerung durch den Kammerauszug. Bei Aufnahmen mit den Aufsatzkammern wählt man dagegen, insofern man eine Auswahl zwischen mehreren Okularvergrößerungen hat, stets die schwachste und vergrößert das Bild nachträglich beim Kopieren (s. Abb. 103). So erhält man die günstigsten Bedingungen für die scharfe Einstellung und für die Belichtung.

g) Die Wechselkondensoren und die Präparatwechselkondensoren. Zu Dunkelfeldaufnahmen mikroskopischer Formgebilde, insbesondere der biologischen Objekte, eignen sich in erster Reihe die Wechselkondensoren, und zwar 1. weil man mit ihnen recht einfach und bequem das Objekt abwechselnd im Hellfeld und im Dunkelfeld beobachten kann, 2. weil sie gegen die Schichttiefe des Objekts weniger empfindlich sind als die starken bizenrischen oder katodioiden

<sup>1</sup> Manchmal läßt sich der Kondensor nicht hoch genug aufkurbeln und die dunkle Stelle verschwindet auch dann nicht, wenn der Kondensor bis zum Anschlag gehoben ist. Solche Schwierigkeiten entstehen hauptsächlich, wenn man Stativ und Kondensoren, die nicht aufeinander angepaßt sind, benutzt, oder wenn der Mikroskopisch eine Lochblende hat und diese nicht entfernt wurde. Am häufigsten liegt jedoch der Grund solcher Störungen darin, daß man den Dunkelfeldkondensor nicht ganz genau in die Schiebuhse des Beleuchtungsapparates eingesetzt oder ihn hier nicht stark genug befestigt hat.



**Dunkelfeldkondensoren** Sie werden als Paraboloidkondensoren (C ZEISS) oder als bizentrische Kondensoren (E LEITZ) hergestellt und mit einem schwachen Hellfeldkondensor ausgerüstet, der im unbenutzten Aperturbereich untergebracht wird. Die Zentralblende wird beim Paraboloid-Wechselkondensor nach H SIEDENTOPF mit der in den Kondensor eingebauten Irisblende so gekoppelt, daß beim Öffnen bis zum toten Aperturbereich die Zentralblende automatisch vor den Hellfeldkondensor eingeschaltet — beim Schließen der Irisblende jedoch nach Überschreitung des toten Aperturbereiches sie wieder ausgeschaltet wird. So kann man einen sehr fein abgestuften Übergang zwischen Hellfeld- und

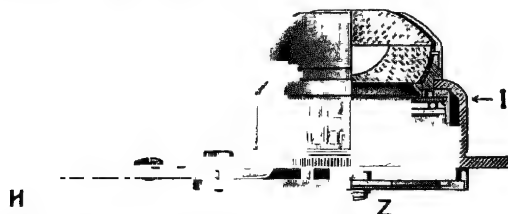


Abb 110 Bizentrischer Kondensor für Hell- und Dunkelfeldbeleuchtung nach M. BEREK (Aus H. ZOCHER [1, Abb. 349])

Dunkelfeldbeleuchtungszielen, was bei der Wahl der Beleuchtung und beim Aufsuchen der für die Abbildung günstigsten Stelle wesentliche Vorteile hat (s. Abb. 215). Ähnlicherweise ist auch der bizentrische Kondensor der Firma E. LEITZ für Hell-Dunkelfeld nach M. BEREK gebaut (Abb. 110).

Als **Präparier-Wechselkondensoren** bezeichnet man jene, welche eine verhältnismäßig große Schnittweite (10 oder 4,5 mm) haben und demzufolge auch dort eine Dunkelfeldbeleuchtung ermöglichen, wo die Objektebene in einer solchen beträchtlichen Höhe oberhalb der Tischöffnung liegt. Sie eignen sich also hauptsächlich zu Zelloperationen im Dunkelfeld und ebenso zur Dunkelfeldbeleuchtung aller Arten von Objekten in hohlgeschliffenen Objektträgern oder Mikrokammern (s. S. 330). Mit ihrer langen Schnittweite hängt ihre geringere Apertur zusammen

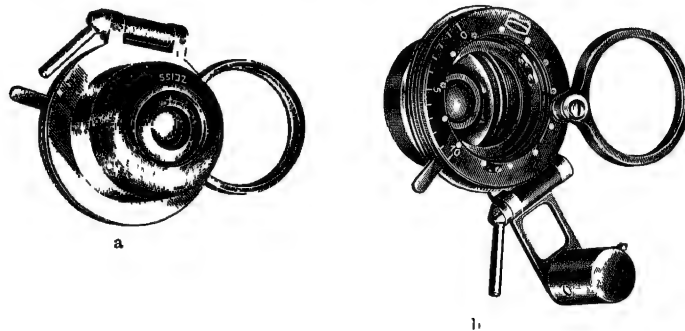


Abb 111 Präparier-Wechselkondensoren der Firma C. ZEISS, a) von oben, b) von unten gesehen (Aus ZEISS-Druckschnitt Mikro 400)

Der Präparier-Wechselkondensor der Firma C. ZEISS mit einer Schnittweite 10 mm hat dementsprechend nur eine wirksame Apertur zwischen 0,4 und 0,5 und eignet sich ausschließlich zu schwachen Objektiven bis zu einer Apertur 0,3 einschließlic. Zur Dunkelfeldbeleuchtung bei mittel-starken Objektiven bis zu einer Apertur 0,65 einschließlic. wird von der Firma C. ZEISS ein anderer Präparier-Wechselkondensor von 4,5 mm Schnittweite und mit der wirksamen Apertur zwischen 0,7 und 0,8 geliefert (vgl. T. PÉTERFI [1]). Beide Kondensoren sind Trockenkondensoren, deren Spiegelflächen besonders geformte Rotationsflächen darstellen. Den Übergang vom Hellfeld zum Dunkelfeld und umgekehrt erzielt man mit einer ein- und ausklappbaren Zentralblende (Abb. 111). Der Präparier-Wechselkondensor der Firma E. LEITZ ist nach der Art der bizentrischen

Kondensoren aufgebaut mit einer Schnittweite von 10 mm. Seine wirksame Apertur entspricht jedoch etwa dem stärkeren Präparier-Wechselkondensor der Firma C ZEISS.

Außer den genannten Präparier-Wechselkondensoren eignen sich ferner zur Dunkelfeldmikroskopie von Objekten in hoher gelegenen Objektebenen die einfachen Dunkelfeldkondensoren, wie z. B. der Planktonkondensor nach NATHANSON der Firma C ZEISS, der Kegelkondensor der Firma C REICHERT oder der Plankton-Spiegelkondensor der Firma VOIGTLANDER. Die zwei erstgenannten sind nur zu Objektiven bis zur num. Apertur 0,3 einschließlich, der Plankton-Spiegelkondensor aber auch zu solchen bis zur num. Apertur 0,6 einschließlich geeignet. Die stärkste Apertur bei einer verhältnismäßig großen Schnittweite (4,5 mm) weist der große Gaskondensor der Firma C ZEISS auf. Dieser Dunkelfeldkondensor mit der wirksamen Apertur zwischen 0,96 und 0,98, der also auch mit Objektiven bis zur num. Apertur 0,85 benutzt werden kann, hat einen außergewöhnlich großen Durchmesser und muß von oben in die Schiebuhse des Beleuchtungsapparates eingesetzt werden. Dementsprechend muß auch der Objektstisch eine besondere, große Öffnung haben.

Alle Trockenkondensoren mit einer großen Schnittweite sind gegen Unregelmäßigkeiten im Strahlengang äußerst empfindlich, bei ihrer Verwendung muß also die Beleuchtung mit besonderer Sorgfalt ausgerichtet sein, was unter Umständen manche Schwierigkeiten kostet, weil die Kondensoren in ihrer Fassung nicht zentrierbar sind.

**82. Die Dunkelfeldbeleuchtung durch Ablendung der Sehfeldstrahlen im Objektiv.** Die Versuche, eine Dunkelfeldbeleuchtung durch Ablendung des Mittelbereichs in der Austrittspupille des Objektivs — etwa der TOPPLERSchen Schlierenmethode analog — zu erzeugen (vgl. H. SIEDENTOPF [4], W. GEBHARDT [2]), haben heutzutage nur mehr eine geschichtliche Bedeutung. Nach SIEDENTOPF (4) wird bei Verwendung von Zentralblenden im Mikroskopobjektiv sowohl das Auflösungsvermögen des Objektivs als auch die Helligkeitsverteilung auf den einzelnen leuchtenden Bildelementen ungünstig beeinflusst. Es treten ferner Spiegelungen auf, welche den schwarzen Hintergrund mit einem Lichtschleier überziehen. Trotzdem hat G. SPIERER (1, 2, 3) in neuerer Zeit (1927) eine Beleuchtungseinrichtung anfertigen lassen, welche mit einem in seinem mittleren Aperturbereich abgeblendeten Objektiv ausgerüstet ist und sowohl für Hellfeld wie für Dunkelfeld, bei Durchlicht und bei Auflicht gleichermaßen zu gebrauchen sei. Die Vorrichtung besteht aus einem Glas- oder Quarzkondensor, dessen mittlerer Teil einen selbständigen Kondensor von beschränkter Apertur (0,4) darstellt, ferner aus einem LIEBERKUHNschen Spiegel (s. S. 228) und schließlich aus dem Objektiv, dessen Apertur der Apertur des schwachen Kondensors (0,4) entsprechend abgeblendet ist. Der LIEBERKUHNsche Spiegel ist zwar hauptsächlich für die Auflichtmikroskopie bestimmt, er soll jedoch auch bei der Durchlichtmikroskopie Vorteile bieten, weil die schief von oben reflektierten Strahlen — etwa wie bei einem bizentrischen Kondensor (s. Abb. 107) — die wirksame Apertur der Dunkelfeldbeleuchtung steigern. G. SPIERER (2, 3) und W. SEIFRIZ (1) haben tatsächlich mit dieser Methode kolloide Strukturen im Dunkelfeld mit starken Immersionslinsen (z. B. mit hom. Imm. Obj. 90fach) abgebildet. Da man dabei von der Schichthöhe des Präparats weitgehend unabhängig ist, eignet sich das Verfahren hauptsächlich zu Zelloperationen im Dunkelfeld (W. SEIFRIZ [1]). Einwandfreie mikrophotographische Aufnahmen wird man jedoch mit dieser Beleuchtung schwerlich erhalten, weil die Kontrastwirkung auch hier durch Spiegelungen gestört ist, und das positive Bild wird meistens von einem Lichtschleier überzogen. Durch die Einführung der neuen Auflichtgeräte für Dunkelfeld

(s S 239) hat die Methode auch für die subjektive Beobachtung von hoher gelegenen Objektschichten an Bedeutung wesentlich eingebüßt

**83. Die Wahl zwischen Hellfeld und Dunkelfeld.** Während ultramikroskopische Strukturen nur bei der entsprechenden Dunkelfeldbeleuchtung sichtbar werden, lassen sich bekanntlich die mikroskopischen Objekte ebenso im Hellfeld wie im Dunkelfeld abbilden. Es muß also zunächst die Frage gestellt werden, wann man bei solchen Objekten für die photographische Aufnahme statt einer Hellfeldbeleuchtung die Dunkelfeldbeleuchtung wählen soll. Die Entscheidung hängt von der Natur des Objekts und in zweiter Reihe auch von der Wirkung ab, die man mit dem photographischen Bild erzielen will. Da im Dunkelfeld geringe Brechungsunterschiede am Objekt stärker zum Ausdruck gelangen als im Hellfeld, wird die Dunkelfeldbeleuchtung der Hellfeldbeleuchtung dort stets vorzuziehen sein, wo das Strukturbild bei allgeringen Brechungsunterschieden schlecht definiert ist oder nur bei stark gezogener Irisblende auf Kosten der Helligkeit eine bessere Definition zeigt. So ist die Dunkelfeldbeleuchtung am besten geeignet für mikrophotographische Aufnahmen von lebenden Zellen und Geweben (s S 318). Die sehr feine und in lebendem Zustand bei Hellfeldbeleuchtung kontrastarmen Zellstrukturen: Kerne, Fimnerhaare, Zellfortsätze und ähnliche werden im Dunkelfeldbild oft deutlicher sichtbar als im Hellfeld (Abb 103 u 109). Der starke Kontrast zwischen dem schwarzen Hintergrund und den leuchtenden Strukturen bietet vielerlei Vorteile sowohl für die Beobachtung als für die photographische Abbildung. Daraus ist z. B. die Wirkung zu erklären, die weder mit der Auflösung noch mit der Güte der Abbildung unmittelbar zusammenhängt, daß nämlich die Strukturen lebender Zellen und Gewebe im Dunkelfeld plastischer, durchsichtiger erscheinen und von der natürlichen Beschaffenheit des Objekts eine bessere Vorstellung geben als auf dem Hellfeldbild (vgl Abb 103). Diese günstige photographische Wirkung erklärt es, warum Dunkelfeldlichtbilder lebender Strukturen in der drucktechnischen Wiedergabe oder beim Bildwurf stets wirkungsvoller sind als die entsprechenden Bilder bei Hellfeldbeleuchtung. Mit der günstigen Kontrastwirkung hängt auch der Vorteil zusammen, daß man Strukturelemente schon bei einer geringeren mikroskopischen Vergrößerung sichtbar machen kann als im Hellfeld. Bakterien, Cilien, Mitochondrien und sonstige Körnchen in den Zellen, zu deren Sichtbarmachung man bei Hellfeldbeleuchtung Linsensysteme von hohen Aperturen (0,85—1,3) benötigt, lassen sich im Dunkelfeld schon mit mittelstarken oder schwachen Objektiven (num Ap 0,2—0,6) gut darstellen. Diese Erscheinung hängt also nicht mit einer stärkeren Auflösung zusammen, denn in solchen Fällen und bei solchen mikroskopischen Strukturen kann man von der Dunkelfeldbeleuchtung keine stärkere Auflösung erwarten als im Hellfeld (vgl S 200). Sie ist vielmehr die Folge des stärkeren Kontrastes, bei welchem die leuchtenden Strukturen auf dunklem Hintergrund bei einer verhältnismäßig geringen Vergrößerung schon für das Auge deutlich sichtbar werden. Da Systeme von niedrigeren Aperturen ein größeres Sehfeld mit größerer Tiefenschärfe liefern, erhält man im Dunkelfeld bei verhältnismäßig schwachen Objektiven ein Bild, das von der Objektstruktur ebensoviel zeigt als ein wesentlich stärker vergrößertes Bild im Hellfeld bei denselben Vergrößerungen, aber mehr Einzelheiten aufweist als das Hellfeldbild. So werden mit der Linsenfolge Apochromat 16 mm (oder Achromat 8fach) und Kompensationsokular 15fach (oder periplan Ok 12fach), d. h. mit einer etwa 120fachen Vergrößerung, Spirillen, Trypanosomen, Leishmanien und sonstige Mikroorganismen von ähnlicher Größe im Dunkelfeld schon sichtbar. Wünscht man eine stärkere Bildvergrößerung, so kann man das Bild durch

einen längeren Kameraauszug, oder wenn man eine Aufsatzkammer benutzt, die Aufnahme mit dem Miraphot und ähnlichen Apparaten (s S 123) weiter vergrößern. Liegen die Objekte in der dem Dunkelfeldkondensor angepaßten niedrigen Objektschicht, so kann man Kondensoren mit großen Aperturen verwenden, in erster Reihe kommen dafür die Wechselkondensoren in Betracht, mit denen man die graphische Wirkung des Hellfeld- und des Dunkelfeldbildes gut vergleichen und die Wahl zwischen Hellfeld und Dunkelfeld leicht treffen kann (s S 210 und Abb 215). Ist aber die Objektschicht höher, wie das gerade bei der Untersuchung lebender Zellen oft unvermeidlich ist (Gewebekulturen, Präparate im hangenden Tropfen usw.), so benutzt man die Präparierwechselkondensoren. Man wird jedoch oft auch lebende Strukturen besser bei Hellfeldbeleuchtung abbilden, namentlich dann, wenn man eine besonders scharfe Abbildung von den Strukturen wünscht (vgl auch S 344). Die Grenzlinien erscheinen nämlich im Dunkelfeld trotz genauester Fokussierung nie so scharf wie bei einer richtig eingestellten Hellfeldbeleuchtung, eine Erscheinung, die ebenfalls in der psycho-physiologischen Wirkung des Dunkelfeldbildes ihre Erklärung hat und nicht mit der Güte der mikroskopischen Abbildung zusammenhängt. Bei Anwendung von achromatischen Objektiven wird diese Unschärfe starker bemerkbar und das hat nun seinen objektiven Grund in der geringeren Korrektur des Objektivs, welche im Dunkelfeld deutlicher erkennbar ist als im Hellfeld. Während man im Hellfeld diese Fokussdifferenz der Achromate mit Lichtfiltern ausgleichen kann, wird man bei Dunkelfeldaufnahmen solche Lichtfilter selten anwenden, da dadurch die Belichtungszeit allzusehr verlängert werden mußte. Am besten eignen sich deshalb zu solchen Aufnahmen die Apochrome und die Fluoritsysteme.

**84. Der Einfluß des Objektes.** Ein weiterer Umstand, der bei der Wahl der Beleuchtungsart — ob Hellfeld oder Dunkelfeld — entscheidend mitspricht, ist die Beschaffenheit des Präparats. Während einzelne Zellen oder gleichmäßig verteilte Gruppen sich für die Dunkelfeldaufnahme gut eignen, erhält man von Präparaten, in welchen einzelne Zellen, größere Zellhaufen, Gewebestückchen usw. nebeneinander liegen, keine guten Bilder. Solche ungleichmäßig dichte Stellen reflektieren allzuviel Licht, und so wird ein Teil des Dunkelfelds überstrahlt. Im Lichtbild erzeugen dann die reflektierenden dichten Stellen weiße Flecke, welche die graphische Wirkung des Bildes weit ungünstiger beeinflussen als die entsprechenden dunklen Flecken im Hellfeld (vgl Abb 199). Diese letzteren sind nämlich stets besser „durchgearbeitet“ und zeigen mehr Struktureinzelheiten als die entsprechenden weißen Flecke des Dunkelfeldbildes. Bei Aufnahmen von Protistenkulturen oder von Zupfpräparaten ist dieser Umstand stets zu berücksichtigen.

Für Dunkelfeldaufnahmen bei stärkeren Vergrößerungen gelten alle Vorschriften, die schon an anderen Stellen mitgeteilt wurden (s S 208). Als Objekte kommen aus dem mikroskopischen Bereich hauptsächlich Zell- und Gewebestrukturen in Betracht, wenn sie nicht allzu dicht sind. Die Mehrzahl der lebenden Zellen hat einen ziemlich flüssigen Zellkörper und eignet sich daher zu Dunkelfeldaufnahmen gut, falls die Schichtdicke des Objekts der Schnittweite des Kondensors angepaßt ist. Dichte Gewebe, wie z. B. nichtfixierte Gefäßschnitte von parenchymatösen Organen (Leber, Pankreas, sonstigen Drüsen usw.) bieten selbst in dünnen Schnitten keine günstigen Objekte zu Dunkelfeldaufnahmen. Sehr schöne Dunkelfeldbilder erhält man dagegen von den durchsichtigen Geweben der Süßwasser- oder Meeresorganismen und vom lockeren Bindegewebe der Wirbeltiere (Abb 199). Am besten eignen sich natürlich Zell-

suspensionen, lebende Bakterien (vgl. METZNER [3], NEUMANN [1, 2, 3], REICHERT [1]), Ausstrichpräparate und dünne Gewebekulturen

Von fixierten Objekten oder von gefärbten Schnittpräparaten Dunkelfeldaufnahmen zu machen, hat wenig Sinn. Die allzu starke Beugung und Reflexion erzeugen ein unruhiges Bild, das schlecht definiert ist und weniger Struktureinzelheiten zeigt als das Hellfeldbild. Auch bei unfixierten frischen oder lebenden Objekten von mikroskopischer Größenordnung erhält man bei der subjektiven Beobachtung meistens ein unruhiges und grelles Bild, namentlich wenn die Objekte eine dichtere kolloide Struktur haben und das Licht, wie es für Dunkelfeldbeleuchtung meistens gebraucht wird, sehr intensiv ist. So ungünstig solche Bilder für die subjektive Beobachtung sind, schaden sie der photographischen Abbildung bei richtig getroffener Belichtung nichts. Stellt man also solche Bilder subjektiv ein, so wird man am besten eine Mattscheibe vorschalten und diese vor der Belichtung entfernen. Man erhält dann auf der Platte ein Zeichnung des Bildes, wie man sie subjektiv bei vorgeschalteter Mattscheibe beobachtet hat. Läßt man die Mattscheibe auch bei der Aufnahme stehen, so erhält man ein Dunkelfeldbild mit weniger Struktureinzelheiten, ein Bild also das etwa dem Hellfeldbild bei derselben Vergrößerung entspricht. Solche Dunkelfeldbilder sind dort erwünscht, wo man von den Objekten fein gezeichnete weiße Grenzlinien auf dunklem Hintergrund erhalten will ohne überflüssige oder storende Teilchen, die im Dunkelfeldbild zwischen den Zellen bei etwas stärkeren Vergrößerungen stets sichtbar werden. Auch dort, wo die Beleuchtungsverhältnisse, wie früher erwähnt, infolge der Dicke oder der Dichte der Struktur für das Dunkelfeldbild ungünstig sind, kann man mit einer Mattscheibe (die man am besten in Rundform in die Fassung der Irisblende einlegt) die storenden Reflexionen abdampfen und ein gleichmäßig beleuchtetes Bild erzielen. Noch besser bewahrt sich bei photographischen Aufnahmen zu solchen Zwecken eine helle Glimmscheibe, wobei natürlich beachtet werden muß, daß die Belichtungszeit länger bemessen werden muß als ohne solche Scheibe.

Bei Gitterstrukturen, wo kreuzende Fasersysteme dicht übereinanderliegen und dadurch die Dunkelfeldwirkung storen, leisten oft die Azimutblenden<sup>1</sup> vorzügliche Dienste. Man stellt den Spalt der Azimutblende senkrecht zur Richtung der Liniensysteme, die man im Bilde mit aller Schärfe darzustellen wünscht. Dadurch löscht man das Bild der parallel zum Spalt gestellten Liniensysteme aus.

**85. Einstellung und Belichtung.** Die Einstellung des Mattscheibenbildes bereitet bei Aufnahmen im Dunkelfeld oft erhebliche Schwierigkeiten, namentlich bei starken Vergrößerungen, wo das Mattscheibenbild recht lichtschwach ist. Am zweckmäßigsten stellt man in einem verdunkelten Raum scharf auf die Mattscheibe ein, bei längerem Kamerauszug wird das Mattscheibenbild jedoch auch hier noch so lichtschwach bleiben, daß man feinere Strukturen allein mit der Spiegelglasscheibe und der Einstelllupe nicht scharf einstellen konnte. Aus diesem Grunde eignen sich die Aufsatzkammen zu den Dunkelfeldaufnahmen am besten, denn die seitliche Beobachtung gestattet in bequemster Form eine regelrechte scharfe Einstellung. Dort, wo die Okularvergrößerung nicht behebiger gesteigert werden kann (Phoku), müssen die Aufnahmen nachtaglich vergrößert werden, was gerade bei scharf eingestellten Dunkelfeldaufnahmen mit bestem Erfolg geschehen kann.

Die Aufnahmen im Dunkelfeld erfordern allgemein eine wesentlich längere Belichtung als bei derselben Lichtquelle, derselben Linsenfolge und demselben Kamerauszug im Hellfeld. Aus diesem Grunde eignen sich zu Dunkelfeld-

<sup>1</sup> Vgl. SEGVARI (1)

aufnahmen nur Lichtquellen von großer Helligkeit (Gleichstrom-Kohlenbogenlampe, Punktlichtlampe, Niedervoltlampe). Da die Irisblende keine Verwendung hat, wird man auch die Kollektorblende ganz offen lassen. Die Belichtungszeit muß stets durch Belichtungsproben ermittelt werden. Im Gegensatz zu den Hellfeldbildern erhält man eine bessere Kontrastwirkung von solchen Dunkelfeldaufnahmen, die länger belichtet und entsprechend kürzer entwickelt wurden. Das gilt vor allem für Aufnahmen bei starken Vergrößerungen, wo die lichtschwachen Strukturfeinheiten bei einer etwas kurzen Belichtung kaum oder überhaupt nicht im Bild erscheinen. Über Momentaufnahmen im Dunkelfeld s. S. 349.

**86. Aufnahmen von ultramikroskopischen Strukturen.** Die Bedingungen bei den Aufnahmen von ultramikroskopischen Strukturen sind im großen und ganzen dieselben, die wir eben für die mikroskopischen Objekte im Dunkelfeld kennengelernt haben. Natürlich müssen hier die Vorschriften zur Erzielung einer günstigen Dunkelfeldbeleuchtung ohne Azimutfehler und mit guter Kontrastwirkung noch sorgfältiger eingehalten werden (Abb. 102). Vor allem muß man auf die Objektschicht achten, da das Gelingen der Aufnahme bei sonst günstigen optischen Bedingungen stark von diesem Faktor abhängig ist. Am besten benutzt man zu solchen Aufnahmen die speziellen Dunkelfeldkammern, welche von den optischen Firmen zu den betreffenden Kondensoren geliefert werden. Wenn man die kolloide Struktur biologischer Objekte abzubilden wünscht und die Objekte in den Dunkelfeldkammern nicht gut unterbringen kann, wählt man dünnere Objektträger und Deckgläser und drückt vorsichtig auf das Deckglas, bis das Objekt ohne Schädigung flach ausgebreitet ist (am besten unter der Kontrolle einer Lupe). Bei sehr empfindlichen Objekten (lebenden Protisten, Eizellen usw.), die man keiner Druckwirkung aussetzen darf, empfiehlt es sich, als Objektträger ein größeres Deckglas zu benutzen. Zu solchen Objekten sind am besten die Paraboloidkondensoren geeignet (s. S. 207).

Die Beleuchtung und die Belichtung erfolgen stets ohne Mattscheibe, da die Ultrateilchen unsichtbar werden, sobald man die Mattscheibe vorschaltet. Je feiner die Ultrateilchen sind, um so länger muß belichtet werden. Eine Überbelichtung ist dabei weit weniger zu befürchten als bei Hellfeldaufnahmen, da von den lichtspendenden Ultrateilchen verhältnismäßig schwache Lichtwirkungen ausgeht. Sie erfordern deshalb eine längere Zeit, um auf der Platte scharf ausgeprägte photochemische Wirkungen hervorzurufen. Die Vorbedingung einer längeren Belichtung ist aber, daß außer von den Ultrateilchen kein Licht in das Sehfeld einfallt. Ist das Sehfeld nicht dunkel genug und werden Strahlen — wenn auch in geringer Menge — von dem Hintergrund aus auf die Platte geworfen, so wird man bei längerer Belichtung einen helleren Hintergrund im photographischen Bild erhalten, als man ihn subjektiv wahrgenommen hat. Alles, was den Dunkelfeldeffekt ungünstig beeinflussen konnte — falsche Fokussierung des Kondensors, falsche Spiegelstellung, zu große Dicke der Objektträger, muß bei Aufnahmen von ultramikroskopischen Strukturen penibelst vermieden werden, da noch so geringe Beleuchtungsfehler bei längeren Belichtungszeiten auf der photographischen Platte viel auffälliger in Erscheinung treten als bei der subjektiven Beobachtung. Für das Gelingen der Aufnahme ist es ziemlich gleichgültig, ob man ein Spaltultramikroskop oder einen Dunkelfeldkondensor benutzt. Bequemer arbeitet man jedenfalls mit einem Kondensor.

**87. Die Wahl der Platten.** Obwohl die Präparate in der Mehrzahl der Fälle ungefaßt sind, empfiehlt es sich doch, sensibilisiertes Plattenmaterial zu den Aufnahmen zu verwenden. Dafür eignen sich orthochromatische lichttrocknere Platten am besten. Auch bei Dunkelfeldaufnahmen mikroskopischer Strukturen soll man stets lichttrocknere Platten verwenden, denn die scharfe

Abbildung von leuchtenden Strukturen erfolgt auf solchen weit besser als auf Platten, die nicht ausdrücklich als lichthoffrei bezeichnet sind (Die Silber-eosinplatten der Firma PERUTZ können auch hier als lichthoffrei betrachtet werden). Bekanntlich erscheinen die Ultrateilchen ihren Größenordnungen entsprechend in verschiedenen Farben des Spektrums leuchtend und werden daher nur dann objektgetreu auf der Platte abgebildet, wenn diese wenigstens für die gelben und gelbgrünen Strahlen sensibilisiert ist. Noch besser treten die Helligkeitsunterschiede im photographischen Bild auf, wenn man panchromatische Platten benutzt. Da rot leuchtende Teilchen verhältnismäßig seltener aufzutreten pflegen als gelbe und blaue, genügen meistens die guten orthochromatischen Platten (z. B. Andresen-Platte der Agfa, Braunsiegel-Ortho-Antihalo-Platte der Firma PERUTZ).

**88. Die Abzüge.** Eine besondere Rolle spielt in der Herstellung von Dunkelfeldphotogrammen das Kopieren der Negative, denn nur bei einer bestimmten



Abb. 112. Eine und dieselbe Aufnahme eines Vanadim-pentoxid-Sols im Dunkelfeld. Bei a ist der Abzug unterbelichtet, bei b richtig belichtet.

Glycerin-Immersion. ZEISS spez. V, 60fach, num. Ap. 0,85, komp. Ok. 10fach, Kardoid-Kondensor, Bogenlampe, Schichtdicke des Präparats 1,1 mm. Es wurde auf die Mitte des Sichtfelds schräg eingestellt, wo ein Stäbchen mit einer Mikronadel berührt wird. Belichtungszeit 54".

Belichtungszeit gelangt der Dunkelfeldeffekt in der Kopie richtig zum Ausdruck. Die für die Entwicklungspapiere für Hellfeldbeleuchtung angegebenen Belichtungszeiten sind für Dunkelfeldbilder fast immer zu kurz. Je nachdem, ob man beim Kopieren kürzer oder länger belichtet, bringt man mehr oder weniger Einzelheiten des Bildes zum Vorschein und erzielt dabei ganz verschiedene Lichtbilder mit einer mehr oder weniger ausgeprägten Kontrastwirkung (Abb. 112). Das weichere oder härtere Kopieren von Hellfeldbildern wird bei sonst richtigen Negativen nur die graphische Wirkung des Bildes beeinflussen, bei den Dunkelfeldbildern dagegen ändert es den ganzen optischen Charakter des Bildes. Jeder Abzug muß dementsprechend darauf geprüft werden, ob er tatsächlich dem subjektiv im Mikroskop beobachteten Bild entspricht. Aus der Kopie allein ist nachträglich kaum zu entscheiden, ob die Dunkelfeldbeleuchtung als solche fehlerhaft war oder nur die Kopie mißlungen ist. Umgekehrt kann die Kontrastwirkung des subjektiv beobachteten Bildes durch ein entsprechendes Kopieren bis zu einem gewissen Grad gesteigert werden, namentlich bei Aufnahmen, wo ein Schleier von Amikronen die Erzielung eines tiefschwarzen Hintergrundes erschwert (z. B. bei Aufnahmen von auf Blutplasma gezuchteten Zellen, Bak-

teilen in Fleischbrühe, Kolloiden mit amikromischem Schleier usw.) Hier kann man durch längere Belichtung der Kopie die von dem amikromischen Schleier herrührende Aufhellung zum Verschwinden bringen und den Kontrast zwischen den hervorzuhebenden Strukturen und dem Hintergrund steigern. Im allgemeinen ist die graphische Wirkung der Kopie dann am besten, wenn der Hintergrund ebenso schwarz wird wie der leere Rand des Entwicklungspapiers. Ist das der Fall und erscheinen die darzustellenden Strukturen noch nicht kontrastreich genug, so liegt der Fehler in der Belichtung oder in der Dunkelfeldbeleuchtung, d. h. im Negativ oder im eingestellten mikroskopischen Bild. Bei sehr zarten Strukturen, wie dem amikromischen Schleier gewisser Stäbchensole oder Fadchen und Kornchen im Protoplasma (Mitochondrien *in vivo*), wird eine dunklere Kopie diese Gebilde unterdrücken, man muß also dort, wo gerade diese im Bild sichtbar gemacht werden sollen, bei der Kopie die Belichtung eher kurzer als länger bemessen. In jedem Fall gelingt es nur nach wiederholten Versuchen die bestgeeignete Kopie zu erhalten, am einfachsten mit Belichtungsreihen (s. S. 121). Eine günstige graphische Wirkung erhält man nur auf hartem Entwicklungspapier, und zwar dann, wenn es mit Hochglanz versehen ist. Man muß dabei besonders darauf achten, daß während der Herstellung des positiven Bildes die Schichtseiten des Negativs und des Papiers vollkommen staubfrei bleiben, da man sonst feine weiße Punktchen in der Kopie erhalten kann, die Ultrateilchen vortauschen könnten.

**89. Die Molekularbewegung.** Eine von der Natur des Objekts abhängige Erscheinung erschwert die Aufnahme von Ultrateilchen erheblich, nämlich die Molekularbewegung der Ultrateilchen (s. SIEDENTOPF [10]). Liegen die Strukturen in einem flüssigen Medium, so wird man bei stärkeren Vergrößerungen im Dunkelfeld stets Ultrateilchen in rascher BROWNSCHER Molekularbewegung vorfinden. Gleichgültig, ob diese die eigentlichen Objekte der Aufnahme bedeuten (z. B. die Ultrateilchen des untersuchten Hydrosols) oder nur nebensächliche Strukturelemente des Dunkelfeldbildes sind (Ultrateilchen der physiologischen Flüssigkeit zwischen den Zellen), können solche Teilchen bei ihren raschen Bewegungen die Schärfe der Aufnahme stark gefährden. Wie weit diese Störung sich beheben läßt, hängt in erster Reihe von der Natur des Objekts ab. Man kann sie, wie schon erwähnt, bei Aufnahmen von mikroskopischen Strukturen im Dunkelfeld einfach durch Einschalten einer Mattscheibe oder Gellscheibe unsichtbar machen, sofern bei der Aufnahme die ultramikroskopischen Strukturen keine Bedeutung haben. Ist aber letzteres der Fall, so muß man trachten, soweit es geht, die Objekte statt in einer Flüssigkeit in einer Gelatine- oder Agar-gallerte unterzubringen (vgl. Abb. 102). Die Kontrastwirkung zwischen den Strukturen und dem dunklen Hintergrund ist bei solchen in Gallerten eingeschlossenen Präparaten jedoch nie so gut wie bei einem flüssigen Medium. So bleibt in vielen Fällen die einzige Möglichkeit, um zu einer scharfen photographischen Abbildung der Dunkelfeldbilder zu gelangen, die Momentaufnahme übrig, die jedoch eine sehr intensive Lichtquelle erfordert und deshalb oft nur schwer durchführbar ist.

Bei Aufnahmen von Kolloiden mit Ultrateilchen in BROWNSCHER Bewegung läßt sich natürlicherweise das Medium nur selten in der geschilderten Weise beeinflussen, denn man muß ja in den meisten Fällen die kolloide Substanz in ihrer natürlichen flüssigen oder gallertigen Beschaffenheit untersuchen und abbilden (s. BECHHOLD und VILLA [1]). Man kann aber oft eine an das Deckglas oder an den Objektträger adsorbierte Schicht der Teilchen zu der Aufnahme verwenden, wo die Teilchen schon unbeweglich sind. In manchen Fällen hört die Molekularbewegung der Teilchen mit der Zeit auf, wenn man das Prä-



parat stehenlaßt. Allerdings ist das schon ein Zeichen von der Veränderung des Sols und daher eine Veränderung des ursprünglichen flüssigen Zustandes. Wo man Wert darauf legt, die ursprüngliche ultramikroskopische Beschaffenheit des betreffenden Sols abzubilden, kann man also den Stillstand der Teilchen nicht abwarten, sondern man muß bei sehr intensiver Beleuchtung Momentaufnahmen machen. Es sei dabei bemerkt, daß die Wärmestrahlen die BROWNSCHE Molekularbewegung beschleunigen. Bei manchen Objekten wird also die Bewegung schon dadurch wesentlich gemildert, daß man ein Filter für die Wärmestrahlen in den Strahlengang einschaltet. Ein solcher Wärmeschutz ist bei den Dunkelfeldaufnahmen auch schon deshalb vorteilhaft, weil die Wärme des künstlichen Lichtes Strömungen im flüssigen Medium hervorrufen kann, namentlich wenn das Präparat nicht umrandet oder nicht in speziellen Dunkelfeldkammern eingeschlossen ist.

### III. Die Mikrophotographie in auffallendem Licht.

(Vgl. zusammenfassende Darstellungen bei F. HAUSER [2, 1], A. KOHLER [8], B. ROMEIS [1], P. VONWILLER [3, 4])

#### a) Aufnahmen mit einseitig auffallendem Licht.

**90. Allgemeines.** Fallt das Licht auf das Objekt von oben und gelangen die Strahlen von den so beleuchteten Strukturen durch Brechung, Beugung oder Reflexion in die Eintrittspupille des abbildenden Systems, so hat man eine Beleuchtung in auffallendem Licht erzeugt. Die theoretischen Gesetze der Abbildung und Bilderzeugung bleiben dabei grundsätzlich dieselben wie bei einer Beleuchtung mit durchfallendem Licht (s. S. 9). Ein wesentlicher Unterschied liegt nur darin, daß bei der Beleuchtung mit auffallendem Licht ein großer Teil der Beleuchtungsstrahlen durch diffuse Reflexion oder durch Absorption verlorengeht. Die volle Ausnutzung der Apertur, namentlich bei Objektiven von großen Aperturen, ist daher mit bedeutenden Schwierigkeiten verbunden.

Man pflegt so körperliche Objekte zu untersuchen, die in ihrem natürlichen Zustand undurchsichtig sind oder sich in ihrer natürlichen Lage („in situ“) für eine mikroskopische Untersuchung im durchfallenden Licht nicht eignen. Die Mikroskopie in auffallendem Licht findet also eine allgemeine Verwendung hauptsächlich in der Metallographie und Mineralogie (s. S. 249), in der Textil- und Papierindustrie, dann in den biologischen Wissenschaften zur Abbildung ganzer Organismen (Insekten, Pflanzen und Pflanzenteile, Embryonen usw.) schließlich zur Sichtbarmachung mikroskopisch-anatomischer Gebilde, die unterhalb der Körperoberfläche nicht tiefer als etwa 50–80  $\mu$  liegen und daher noch einer Untersuchung in auffallendem Licht zugänglich gemacht werden können (Hornhautmikroskopie, Kapillarmikroskopie usw.<sup>1</sup>).

Auch die üblichen histologischen Schnitte können in auffallendem Licht untersucht werden, vorausgesetzt, daß sie nicht mit einem Deckglas bedeckt sind. Oft wird eine solche Untersuchung sogar vorteilhaft sein, so z. B. bei Knochen- oder Zahnschliffen, bei Geweben, die viel anorganische Einschlüsse aufweisen (z. B. Lungengewebe) oder Bronchialdrüsen, die mit Kohle- oder Staubeilchen imprägniert sind, oder bei Aschenbildern (Mikroveraschung, Spodographie) (Abb. 113 u. 114). Man braucht dazu nur die Tischöffnung mit einem Stück schwarzen Papiers zu bedecken und das Präparat auf dieser schwarzen Unterlage mit einem LIEBERKUHNschen Spiegel, dem Vertikalilluminator (Opakilluminator) oder dem Schraglichtkondensor von oben zu beleuchten. Im

<sup>1</sup> Vgl. H. BECHER (1), Ph. ELLINGER und A. HIRT (1), P. VONWILLER (1, 2), P. VONWILLER und R. ALLEMANN (1), P. VONWILLER und A. VANNOTTI (2).

allgemeinen wird man natürlich solche durchsichtigen Objekte vorteilhafter mit durchfallendem Licht im Hellfeld oder Dunkelfeld abbilden und die Beleuchtung in auffallendem Licht nur bei Objekten anwenden, welche das Licht überhaupt nicht oder nur in geringem Maße durchlassen

**91. Die geeigneten Objekte.** Die Beleuchtung mit auffallendem Licht kann im allgemeinen auf zwei Arten erfolgen, entweder als einseitig auffallende schiefe Beleuchtung oder als allseitig auffallende schiefe und steile Beleuchtung. Die Vorbedingung zu der einseitig-schiefen Beleuchtung ist, daß der Objektstand groß genug sei. Diese Forderung ist bekanntlich nur bei schwächeren Objektiven erfüllbar. Mit den Objektivpaaren der binokularen Präpariermikroskope (s. S. 257) und den dazu gehörigen stärkeren Okularen lassen sich allerdings mikroskopische Bilder bis zu 336facher Vergrößerung (Objektivpaar 12-, orthoskopisches Okularpaar 28fach) bei schiefer Beleuchtung in Aufsicht noch gut beobachten, da der freie Objektstand hier 17 mm beträgt. So starke Vergrößerungen wird man aber nur selten brauchen, da die so erzeugten Bilder allzu lichtschwach sind. Für mikrophotographische Aufnahmen kommen nur schwächere Vergrößerungen in Betracht, denn nur bei diesen bietet die auffallende schiefe Beleuchtung wesentliche Vorteile. Man pflegt also meistens kleine, aber mit freiem Auge schon sichtbare Objekte, wie Furchungsstadien, Keimlinge, kleine Tiere und Pflanzen oder mikroskopisch-anatomische Gebilde größerer Organismen, z. B. Blätter, Wurzeln oder

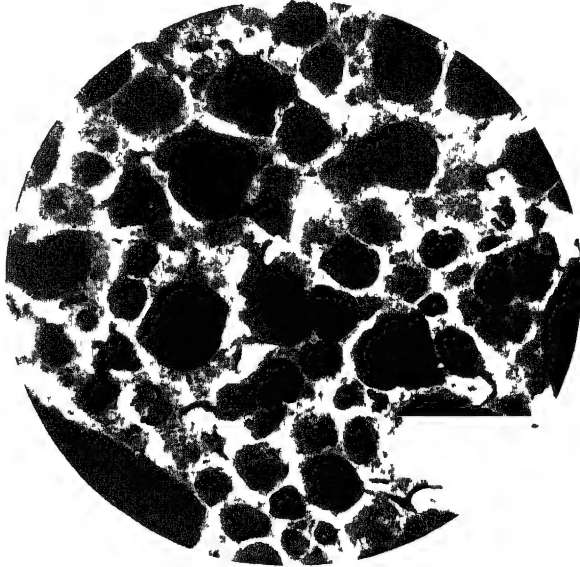


Abb 113 Spodogramm

Lunge, Meerschweinchen, LRTZ-Obj. 2, „Phoku“ Bildvergr. etwa 50fach. Im auffallenden Licht. (Aus E. TSCHOPP [1, Abb. 17, S. 584])

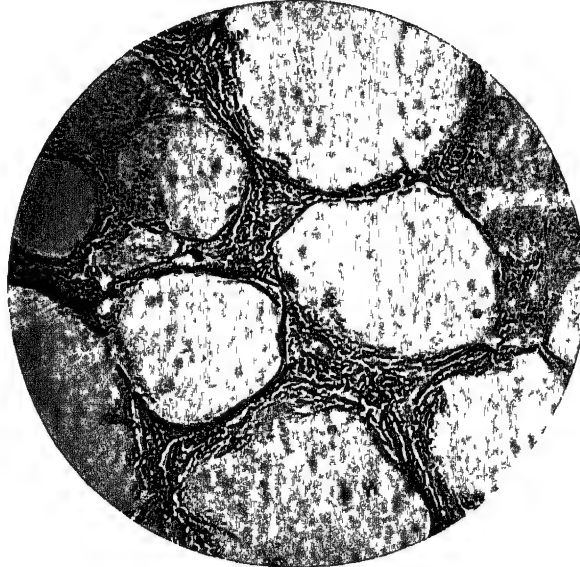


Abb 114 Spodogramm

Lunge, Meerschweinchen, ZITSS-Obj. 4 mm. mm. Ap. 0.95, „Phoku“ Bildvergr. etwa 200fach. Im durchfallenden Licht. (Aus E. TSCHOPP [2, S. 585, Abb. 18])

Bluten von Pflanzen, Schuppen, Haare, Federn von Tieren, die Knochenspongiosa oder das Schleimhautrelief usw., so abzubilden, um plastisch wirkende Bilder zu erhalten (Abb 115 u 116). Die plastische Wirkung wird nämlich durch die einseitig schiefe Beleuchtung stark gefordert, da diese charakteristischen Schatten erzeugt. Man wird dabei die Richtung des Lichteinfalls durch entsprechende

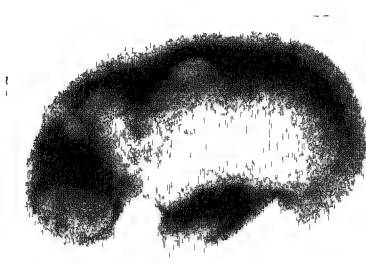


Abb 115 Triton-Kemling mit eingepflanztem Stückchen an der Bauchseite. Planar 35 mm (1:4,5), Bildvergrößerung 30fach (Originalaufnahme von O. MANGOLD)

Stellung der Lichtquelle oder des Objekts so bestimmen, daß man eine graphisch wirksame Verteilung von Licht und Schatten erzielt, bei der die Schatten wesentliche Teile des Objekts nicht bedecken und das Körperhafte gut zum Ausdruck bringen.

Je nach der gewünschten Vergrößerung erzielt man die Aufnahmen ohne Mikroskopstativ mit einer an der Kamera befestigten photographischen Linse, mit den anastigmatischen mikrophotographischen Objekten oder den schwächeren Mikroskopobjektiven, wie das bei den Aufnahmen mit schwachen Vergrößerungen schon angegeben wurde (S 184).

Das Teleobjektiv soll sich nach KÄHLER (1) und ELSNER v. GRONOW (1,2,3) zur Mikrophotographie kleiner, opaker Gegenstände besonders eignen. Bei besonderen Aufgaben und Objekten (z. B. bei Aufnahmen von lebenden Strukturen „in situ“) benutzt man eigens dazu gebaute Einrichtungen (Hornhautmikroskope, Kapillarmikroskope).



Abb 116 Birken-Fruchtschuppen und Samen auf schwarzem Hintergrund bei 9,5facher Vergrößerung. BUSCH-Mikro-Hjptar 35 mm (F 3,5) (Aus M. WOLFF [1, Fig 12, S 17])

## 92. Die Beleuchtung.

Zur Beleuchtung eignet sich am besten die Gleichstrom-Punktlichtlampe, die das nötige helle Licht spendet und auf ihrem Gestell in jeder gewünschten Richtung leicht eingestellt werden kann. Auch Niedervoltlampen und kleine Handbogenlampen (z. B. die Liliputhbogenlampen der Firmen LERTZ oder BUSCH) sind gut brauchbar. Eine sehr vorteilhafte doppelseitige Beleuchtung läßt sich mit den Beleuchtungslampen nach GREIF (1) erzielen,

wobei die eine Lampe (Hauptbeleuchtung) stärkeres Licht spendet als die andere (Nebenbeleuchtung). Die Lampen sind Halbwattlampen, bei der Hauptbeleuchtungslampe mit Kollektor und Kondensor, bei der Nebenbeleuchtung nur mit Kondensor ausgerüstet. Die Lichtquelle muß möglichst nahe am Objekt stehen, um nicht zu viel Licht einzubüßen, denn trotz intensiver Beleuchtung geht für die Abbildung ein großer Teil des Lichtes unvermeidlich verloren. Aus diesem Grunde muß auch das Licht von der Lichtquelle möglichst restlos auf das Objekt konzentriert werden und dort, wo die Lampe mit einer

Beleuchtungslinse nicht ausgerüstet ist, eine solche hinter der Lampe aufgestellt werden. Erfordert die Beleuchtung des Objekts ein größeres Leuchtfeld, so wird noch ein Hilfskollektor (z. B. H 100) aufgestellt. Die speziellen Beleuchtungseinrichtungen, die man zu der subjektiven Beobachtung bei schief auffallendem Licht zu benutzen pflegt und die mit Niedervoltglühbirnen ausgerüstet sind (Mignonlampen in verschiedener Ausführung), sind für mikrophotographische Zwecke zu lichtschwach.

Mit den eingangs erwähnten Lichtquellen kann man sowohl bei den großen horizontalen und vertikalen wie auch bei den kleinen vertikalen Kammern die erforderliche lichtstarke Beleuchtung erzielen. Sind die kleinen Vertikalapparate mit einer optischen Bank ausgerüstet, wie z. B. der Apparat von ROMEIS, so schiebt man die Lampe und den Kollektor so nahe an das Objekt, als es erforderlich ist, damit das Licht schief von oben auf das Objekt fällt<sup>1</sup>. Dann konzentriert man das Licht auf das Objekt, bei Punktlichtlampen durch Verstellung der Lampenfassung in ihrem Führungsohr, bei Kohlenbogenlampen mit eingebauter Kollektorlinse durch Verschieben des ganzen Lampengehäuses und bei Lichtquellen, wo der Kollektor selbständig verstellbar ist, durch Verschieben der Kollektorlinse. Falls das so erzeugte scharf begrenzte Leuchtfeld für die Aufnahme zu klein ist, stellt man den Hilfskollektor auf.

Die günstige Schattenbildung und die dadurch bedingte plastische Wirkung ist auch von der Öffnung der Kollektorblende und von der Stellung des Objekts stark abhängig. Hat man nur bestimmte Bezirke einer größeren Oberfläche aufzunehmen, so muß man die Kollektorblende so weit schließen, daß das Leuchtfeld auf den aufzunehmenden Bezirk begrenzt bleibt. Man erhält verschleierte oder kontrastarme Bilder, wenn auch die Umgebung hell beleuchtet

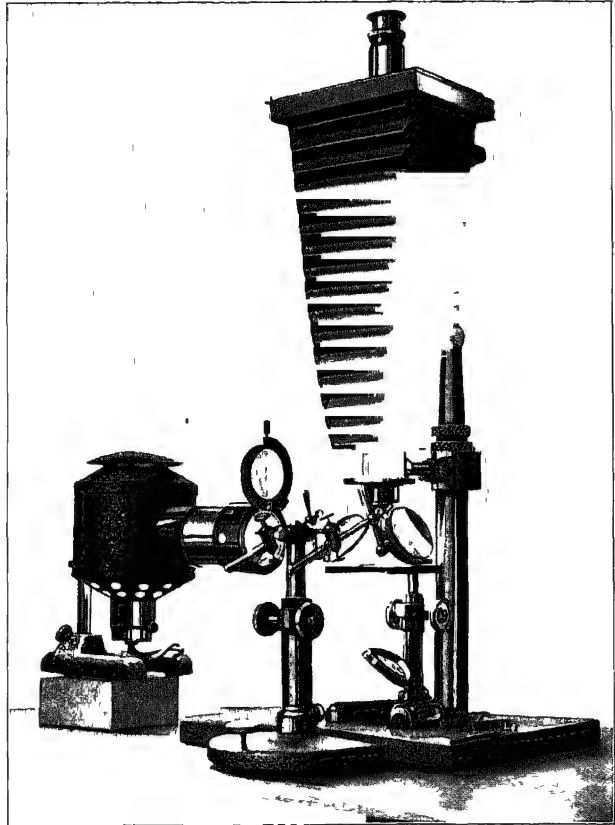


Abb. 117 Mikrophotographische Einrichtung der Firma F. BUSCH & Co. für Auflicht bei schwachen Vergrößerungen (Aus M. WOLFF [1], S. 15, Abb. 111)

<sup>1</sup> Die kleine Vertikalkamera nach HECHNER ist zu Aufnahmen in schief auffallendem Licht nicht geeignet.

ist. Bei körperhaften Objekten, die als Ganzes abgebildet werden sollen, ist meistens eine indirekte Beleuchtung mit einer vorgeschalteten Mattscheibe und einem hinter dem Objekt aufgestellten Spiegel oder mit zwei Spiegeln (SCHAUM [2]) am besten geeignet, da man dadurch die Bildung von störenden Schlagschatten verhindern kann. Sowohl der Spiegel (Plan- oder Hohlspiegel) als auch die Mattscheibe sind auf besonderen Haltern, in verschiedenen Richtungen verstellbar und neigbar, so angebracht, daß man sie mit ihren Haltern auf dem Mikroskopstativ oder auf der Laufstange der Kamera

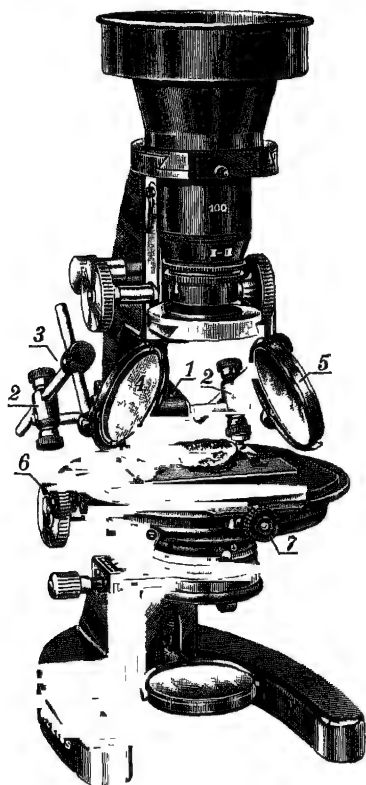


Abb 118 Mikrophotographische Einrichtung der Firma C. ZEISS für schwache Vergrößerungen im Auflicht mit Mattscheibe und Spiegel auf Haltern  
(Aus ZEISS-Druckschrift Mikrophot. 401)

befestigen kann (Abb 117 u 118). Durch entsprechende Neigung der Mattscheibe und des Spiegels lassen sich die Schatten in der gewünschten Form verstärken oder aufhellen. Bei den großen mikrophotographischen Apparaten der Firma ZEISS erfolgt z. B. die Beleuchtung des Objekts durch schief auffallende Lichtstrahlen mit Spiegeln und Mattscheibe (Abb 118). Die sonstige Beleuchtungseinrichtung Lampe, Beleuchtungslinse usw. bleibt wie gewöhnlich auf der optischen Bank aufgestellt, nur benutzt man zweckmäßig Hilfskondensoren oder Kollimatoren, die für die schwachen Vergrößerungen vorgeschrieben sind. Durch entsprechende Höheneinstellung dieser Linsen lenkt man den Strahlengang auf das Objekt, das stets so hoch aufgestellt werden muß, daß die Strahlen der Lampe von der Mattscheibe und dem Spiegel aufgefangen und auf das Objekt reflektiert werden können. Mit entsprechenden Fußplatten oder Tischen auf Reitern läßt sich das Objekt sowohl bei Aufnahmen mit Mikroskopstativ wie auch bei solchen ohne Stativ in der gewünschten Höhe aufstellen. Das Licht fällt dann zuerst genau zentriert in waagerechter Richtung auf die vor dem Objekt aufgestellte, mehr oder weniger geneigte Mattscheibe. Erst diese wirft einen Teil des Lichtes schief nach unten, während der übrige Teil auf den Spiegel hinter dem Objekt fällt und von hier aus wieder schief nach unten reflektiert wird. Die schiefe Beleuchtung von oben wird also hier nur indirekt erzeugt.

Eine direkte doppelseitige schiefe Beleuchtung von oben erzielt man entweder mit den GREILSchen Lampen oder mit der Opakbeleuchtungseinrichtung der Firma LEITZ, die aus einer horizontal und vertikal verstellbaren, dreh- und neigbaren Tischplatte und aus zwei Glühlampen von 200 Watt besteht (Abb 119). Die Lampen sind mit reflektoriert ausgebauten Schirmen versehen und auf Gelenkarmen befestigt, so daß sie in verschiedenen Richtungen eingestellt werden können. Statt der Glühlampen können in ähnlicher Weise auch zwei Leuchtputzlampe mit Uhrwerkregulierung und mit Beleuchtungslinsen benutzt werden. Die letzteren eignen sich für kleinere Objekte bei verhältnismäßig starken Vergrößerungen (10–30fach), die Glühlampen dagegen dort, wo ausgedehnte Flächen bei ganz schwachen Vergrößerungen aufgenommen werden sollen. Bei der REICHERTSchen Einrichtung erzielt man das schief auffallende

Licht ebenfalls direkt mit Hilfe eines Periskopspiegels. Allzu starke Schatten können dabei mit dem Schlagschattenreflektor (einer Spiegeleinrichtung auf beweglichem Arm) ausgeglichen werden. In neuester Zeit (1929) haben F. HAUSER und L. MOHR (1) eine universelle Beleuchtungsanordnung angegeben für Übersichtsaufnahmen opaker Objekte. Diese besteht aus einem viereckigen Blechrahmen, der hinter seinen ausgehohlenen Wänden Soffitenlampen trägt. Der Rahmen wird mit zwei Tischstativen über den Objektisch gestellt, so daß die Vertikalkamera im Ausschnitt des Rahmens auf das Objekt eingestellt werden kann. Mit starken Photoklammern lassen sich Streifen aus Milchglas, Papier usw. in den Rahmen einhängen und dampfen dann gleichmäßig das auffallende Licht der Soffitenlampen. Da diese letzteren einzeln schaltbar sind, kann man das Objekt sowohl allseitig wie auch aus bestimmten Richtungen schief beleuchten. Zur Vermeidung starker Schlagschatten und zur gleichmäßigen Beleuchtung gewölbter Oberflächen (z. B. bei Aufnahmen von Käfern) stellt man zweckmäßig noch einen Spiegel unterhalb des Soffitenrahmens auf und beleuchtet so das Objekt auch noch schief von unten her.

Eine recht handliche und einfache Vorrichtung zum Beleuchten kleiner Gegenstände (Insekten, Mücken u. a.) bei schwacher Vergrößerung im auffallenden Licht stammt von H. RÜGE und H. PLETT (2). Die Einrichtung besteht aus einem kleinen Doppelspiegel nach PLETT (hergestellt bei P. MARTINI G. m. b. H., Hamburg) und wird am Objektisch hinter dem Objekt aufgestellt. Die Spiegel stehen rechtwinklig zueinander. In den so gebildeten Winkel wird das Objekt gestellt und von zwei Lichtquellen doppelseitig so beleuchtet, daß die Strahlen der Lampen sich kreuzen und senkrecht auf die Spiegel fallen.

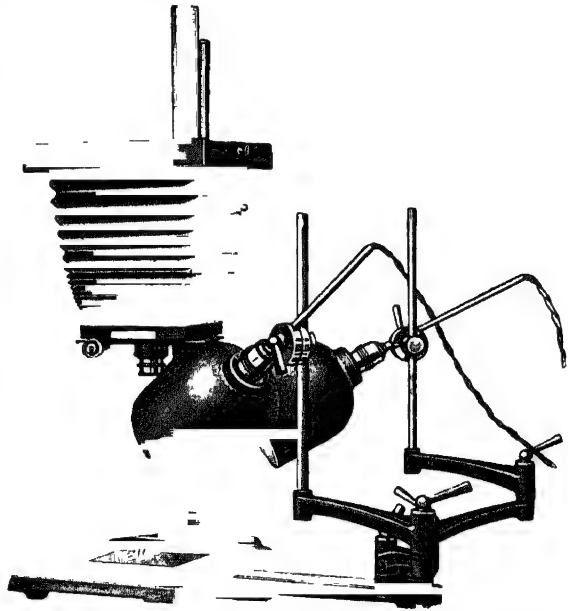


Abb. 119. Einrichtung zur Beleuchtung opaker Gegenstände der Firma L. LEITZ.  
(Aus LEITZ-Druckschrift Nr. 51 G d.)

**93. Die Objekthalter.** Es ist leicht erklärlich, daß bei der Eigenart der durch das schief auffallende Licht erzeugten Bilder, in denen die Schatten und Reflexe den plastischen Charakter des Bildes bestimmen, dem Hintergrund bzw. der Unterlage eine erhöhte Bedeutung zukommt. Die Unterbringung oder Aufstellung des Objekts gehört daher mit in die Methodik der Beleuchtung, und meistens läßt sich eine zweckmäßige Beleuchtung nur dann erzielen, wenn das Objekt zwischen Beleuchtungseinrichtung und abbildendem System in entsprechender Weise untergebracht ist. In dieser Hinsicht wollen wir zunächst zwei Gruppen unter den für solche Aufnahmen in Betracht kommenden Objekten unterscheiden: 1. die Objekte, welche nur in Luft und 2. solche, welche nur in Flüssigkeiten untergebracht werden können. In die erste Gruppe gehören z. B. anorganische Objekte (Gesteine, Kristalle u. a.), frische oder getrocknete

Pflanzen oder Pflanzenteile (soweit sie keine Wasserorganismen sind), Hartgebilde von Tieren, kleine Insekten usw. Die zweite Gruppe enthält dann die Wasserorganismen, Embryonen und die Weichteile der Tiere. Hierher gehören weiter sämtliche anatomischen Präparate, die feuchte reflektierende Oberflächen aufweisen. Die Objekte werden zunächst, gleichgültig, zu welcher Gruppe sie gehören, auf eine Unterlage gestellt, die bei Aufnahmen ohne Mikroskop entweder die Grundplatte des mikrophotographischen Apparats sein kann oder ein besonderer Aufnahme Tisch, bei Aufnahmen mit dem Mikroskopstativ aber der Mikroskoptisch selbst. Die Unterlage muß eine gleichmäßig getonte Oberfläche haben, von welcher sich die Objekte in vorteilhafter Weise abheben. Diese Oberfläche liefert nämlich den Hintergrund des Bildes, von dem die graphische Wirkung abhängt. Am besten eignet sich als Tischplatte eine dickere Mattscheibe mit etwas grauer Tönung. Ganz schwarze und ganz weiße Unterlagen sollte man tunlichst vermeiden, die ersteren deshalb, weil ein Teil der von der Körperform bedingten Schatten verlorengeht, die letzteren aber deshalb, weil sie die Bildung von Schlagschatten und von allzu grellen Kontrasten begünstigen. Als schwarze Unterlage eignet sich noch am besten schwarzer Samt oder das billigere Samtpapier. Meistens wählt man aber als Hintergrund eine dunklere oder hellere Unterlage aus grauem, grünem, rotem oder blauem Papier, je nachdem ob das Objekt hell auf dunklem oder dunkel auf hellem Hintergrund erscheinen soll. Grüne Unterlagen wirken bei Aufnahmen auf orthochromatischen Platten heller als graue, hellblaue noch heller, fast wie weiß, ohne jedoch allzu grelle Kontraste zu erzeugen. Rote Unterlagen liefern einen tiefdunklen Hintergrund, lassen jedoch die Körperschatten besser erkennen als die schwarzen Unterlagen. Die stark pigmentierten Furchungsstadien oder Larven von Amphibien sind z. B. am besten auf einem Hintergrund aus Mattglas oder hellblauem Papier, die hellen Entwicklungsstadien von Petromyzon oder menschlichen Embryonen sind besser auf einem dunkleren Hintergrund aufzunehmen und zeigen eine gute Kontrastwirkung, wenn die Unterlage rot oder dunkelgrau war.

Trockne Objekte stellt man vorteilhaft auf einer Platte aus Mattglas auf, und zwar möglichst so, daß sie nicht unmittelbar der Platte aufliegen. Je nach der Natur des Objekts wird man die Aufstellung verschieden und mit verschiedenen Hilfsmitteln vornehmen müssen. So wird man z. B. Käfer, Schmetterlinge usw. mit Stecknadeln auf Kork oder auf Holzklötzchen befestigen, flachenhafte Objekte, wie Blätter, Schmetterlingsflügel, Federn, Schuppen usw., stellt man am besten auf kleinen Glasplatten auf, die man mit Plastilinfüßen auf Mattglas befestigt. Die Glasplatten müssen natürlich immer kleiner sein als die Objekte und dürfen im photographischen Bild nicht sichtbar werden.

Eine für solche Objekte ausgesprochen geeignete mikrophotographische Einrichtung wurde in letzter Zeit (1930) von MARSHALL (1) angegeben (Abb. 120). MARSHALL hat den Apparat für Aufnahmen an Insekten<sup>1</sup> verwendet. Die Anordnung läßt sich jedoch auch bei anderen ähnlichen Objekten zu Aufnahmen bei schwachen Vergrößerungen in auffallendem Licht vorteilhaft benutzen.

Die Objekte in Flüssigkeiten bringt man in ihren Glasbehältern auf die Tischplatte. Sehr vorteilhaft erweist sich dabei ein Verfahren, das von ROMER stammt und darin besteht, daß man ein kleineres Gefäß mit dem Objekt in einem größeren Gefäß auf zwei Metallwinkeln (oder auf Glasringen) aufstellt (Abb. 121).

<sup>1</sup> Ein anderer, ebenfalls zur Photographie von Insekten bestimmter Apparat stammt von A. I. NICHOLSON (1).



Auch das größere Gefäß wird mit Flüssigkeit gefüllt, und zwar je nach der gewünschten Kontrastwirkung mit einer roten, blauen, gelben oder grünen Farblösung. Man kann solche Aufnahmegefäße leicht herstellen mit einer größeren Petrischale von 14—15 cm Durchmesser und  $4\frac{1}{2}$ —5 cm Höhe, mit zwei Metallrahmen zur Paraffineinbettung und dann mit einer kleineren Petrischale von 9—10 cm Durchmesser und 2—3 cm Höhe. Mit dieser Einrichtung läßt sich die Tönung des Hintergrundes je nach der Konzentration der Farblösung in bester Weise abstimmen, auch kann man die Tischplatte des Mikroskops oder des Lupenstativs ohne weiteres benutzen.

Noch besser eignet sich bei Aufnahmen mit oder ohne Mikroskopstativ für die Unterbringung des Objekts die schon erwähnte

Beleuchtungsanordnung von HAUSER und MOHR (s. S. 1) oder das Aufnahme-metrischen von ROMEIS (vgl. Abb. 101). Dieses Tischchen ist nämlich zur Beleuchtung in

auffallendem Licht mit zwei Reflektorlampen und einer Abblende- vorrichtung ausgerüstet, wodurch man die Beleuchtung und die Schattenbildung in der gewünschten Weise regeln kann.

Das Gefäß, in welchem das Objekt oder die Objekte liegen, muß einen ebenen Boden haben. Beim Aufstellen auf die Tischplatte achtet man darauf, daß die Außenseiten vollkommen trocken sind und keine nassen Flecke zwischen Gefäßboden und Tischplatte entstehen. Den Innenwänden oder dem Objekt anhaltende Luftblasen müssen selbstverständlich entfernt werden. Wichtig ist weiterhin, daß das Objekt mit der Flüssigkeit gut bedeckt ist, d. h. seine Oberfläche nirgends aus der Flüssigkeit herausragt, aber andererseits die Flüssigkeitsschicht oberhalb des Objekts nicht zu hoch ist. Im ersteren Fall

werden störende Reflexe entstehen, im letzteren leidet die Schärfe der Abbildung. Am besten wählt man nur so tiefe Gefäße, daß das Objekt gerade gut mit der Flüssigkeit bedeckt ist, wenn man sie fast bis zum Rande füllt. Die Oberfläche der Flüssigkeit muß natürlich ganz glatt und ruhig liegen. Schöne Aufnahmen erhält man von Präparaten in Aufsicht, wenn man das Gefäß vollständig mit Flüssigkeit füllt und mit einer Glasplatte luftblasenfrei zudeckt. Bei Objekten, die sich leicht bewegen können, namentlich wenn sie runderliche Form haben, gießt man den Boden des Gefäßes mit Wachs oder einer Mischung von Wachs und weichem Paraffin aus, in kleinen seichten Vertiefungen, die mit einem

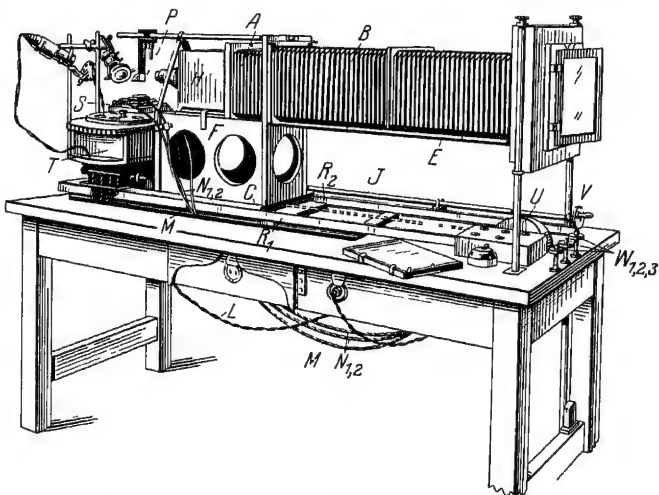


Abb. 120 Apparat zur Photographie von Insekten

$R_1, R_2$  = Leitschienen,  $C$  = Chassis mit dem Wagen  $T$ ,  $U$  = Handrad,  $H$  = Aufnahmekammer,  $T$  = Wagen für den Objektisch  $S$ ,  $P$  = Umkehrprisma,  $I$  u.  $B$  = Balganszüge,  $I$  = Handrad,  $J$  = Welle zum Kammrauszug,  $M, N_1, 2, W_1, 2$  = Vorrichtungen zur Drehung des Objektisches in verschiedenen Richtungen (Aus J. F. MARSHALL [1, Fig. 1])



Abb. 121 Schematische Darstellung der Aufnahmevorrichtung nach B. ROMEIS im Durchschnitt (Aus B. ROMEIS [1, Abb. 115 S. 137])



heißen Glasstab in die Wachsschicht eingedrückt werden, bekommen dann die Objekte genugenden Halt. Solche Wachsschichten geben dann in ihrem natürlichen Zustand einen hellen, mit Ruß oder Olfarbe gemischt einen dunklen Grund. Auch für anatomische Situspräparate, die unter Flüssigkeit aufgenommen werden, benutzt man solche mit Wachs ausgegossenen Schalen und spannt die Präparate mit Nadeln, Igel- oder Kaktusstacheln in der gewünschten Weise aus. Bei zweckmäßiger Länge und Farbe der Nadeln kann man die so mit dem Präparat abgebildeten Nadeln als Orientierungslinien für die Abbildungserklärungen verwenden. Auch pflegt man zu ähnlichen Zwecken dünne Drähte oder bei feinen und zarten Objekten Roßhaare und Zwirnfäden auf das Präparat aufzulegen, um besonders wichtige Stellen damit zu markieren. Es lohnt sich allerdings nicht, viel Mühe für die Anbringung solcher Orientierungslinien anzuwenden, denn die Linien, die man nachträglich in das photographische Bild einzeichnen kann, erfüllen viel einfacher denselben Zweck. Wichtiger ist, daß

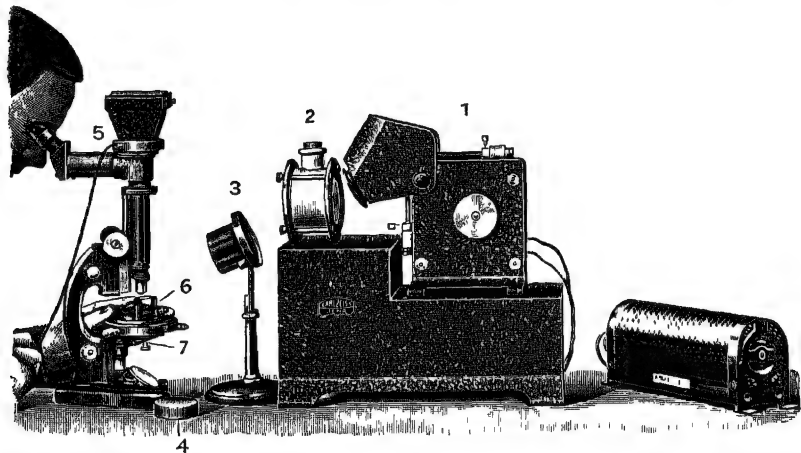


Abb 122 Mikrophotographische Einrichtung der Firma C. ZEISS zum Kapillarmikroskop  
1 = Kohlenbogenlampe mit Uhrwerk, 2 = Wärmeschutz, 3 = Kollektor, 4 = Aufstellbares Grundfilter,  
5 = Phoku, 6 = Fingerhalter, 7 = Tischblende (Aus Zeiss Druckschrift Mikro 373)

man gleichzeitig mit dem Objekt auch eine neben das Objekt gelegte Millimeter-einteilung aufnehmen sollte, um im Bild einen Maßstab der Vergrößerung zu erhalten. ROMEIS (I, S. 436) verwendet dazu ein kleines Stück eines mit geschwärzter Maßteilung versehenen Stahlbandes.

**94. Die Objektive.** Das abbildende optische System bleibt dasselbe, das wir bei den Aufnahmen mit schwachen und schwächsten Vergrößerungen (S. 185 ff.) kennengelernt haben. Bei der Wiedergabe niedriger Oberflächenreliefs (feinerer Kutikulargebilde von Pflanzen oder Tieren) verwendet man die schwächsten Achromate und Apochromate mit Okularen oder die stärkeren anastigmatischen Systeme ohne Okular. Handelt es sich jedoch um höhere Oberflächenreliefs (z. B. Darmzotten) oder um Körper von ausgeprägter Plastik, so eignen sich für die Aufnahme die schwachen anastigmatischen Objektive und die photographischen Objektive besser, da sie eine bessere Abbildungstiefe haben. Mit der eingebauten Irisblende solcher Objektive muß man dann die Öffnung so gestalten, daß oberflächliche und tiefer gelegene Stellen gleich scharf erscheinen. Zu weit geöffnete Blenden sind ebenso ungünstig wie zu enge. Erst stellt man bei vollständig geöffneter Blende auf eine mittlere Schicht ein und zieht dann die Blende so weit zu, daß die oberhalb und unterhalb liegenden Schichten ebenfalls

scharf erscheinen Über die Aufnahmen mit einem binokularen Präpariermikroskop in auffallendem Licht s S 257

**95. Die Kapillarmikroskopie.** Die Aufnahmen mit einem Hornhaut- oder Kapillarmikroskop bedeuten spezialisierte Arten der Mikrophotographie mit schief auffallendem Licht (Abb 122 u 123) Sowohl bei der Hornhaut- wie der Kapillarmikroskopie handelt es sich um mikroskopische Gebilde, die in situ an makroskopischen Objekten untersucht werden müssen und zur Aufstellung des Objekts und der Vorkehrung besondere Einrichtungen erfordern (zur Hornhautmikroskopie vgl L KOEPPE [1], KNUSEL und VONWILLER [1], REDWAY [1]) Zur subjektiven Beobachtung kann man ein binokulares Präpariermikroskop auf geeignetem Stativ benutzen und das Objekt (Finger, Augen, ganze Kopfe usw) vor den Objektpaaren in besonderen Haltein unterbringen Zu solchen subjektiven kapillarmikroskopischen Untersuchungen eignet sich besonders das Hautmikroskop von OTTFRIED MÜLLER (1), ein monokulares Mikroskop mit einem schwachen Apochromat (10fach, Ap 0,3) oder einem Objektiv 6fach in Sonderfassung Als Lichtquelle benutzt man dann entweder die in das Stativ eingebaute Mignonlampe oder die weit lichtstärkeren Punktlichtlampen und Liliputbogenlampen mit Beleuchtungslinse und mit einer Kuvette für den Wärmeschutz Zu mikrophotographischen Zwecken eignet sich jedoch das Hautmikroskop wegen

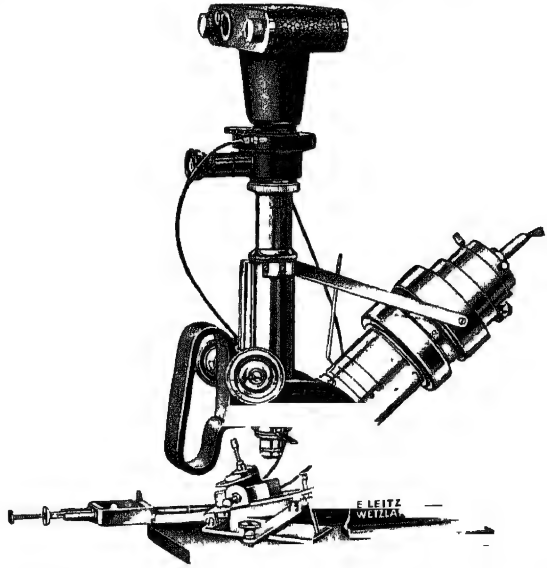


Abb 123 Mikrophotographische Einrichtung der Firma E LEITZ zu Kapillarmikroskopie mit der „Mihilmica“

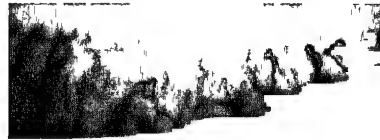
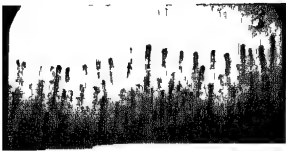


Abb 124 Kapillaren am Nagelfalz bei zwei älteren Kindern, entnommen mit der in Abb 123 sichtbaren Einrichtung Bildvergrößerung 60fach (Originalaufnahme von W FAHNSEH)

seiner geringen Stabilität schlecht In den ZEISS-Werken wurde deshalb eine besondere mikrophotographische Einrichtung gebaut zu kapillarmikroskopischen Aufnahmen an Nagelfalzkapillaren mit einem Phoku (s S 167), einer Mikro-Uhrwerk-Bogenlampe und einer geneigten Sammellinse die das schief auffallende Licht auf das Objekt konzentriert (Abb 122) Diese Linse stellt mit der dazugehörigen Irisblende den Kollektor der Beleuchtungseinrichtung dar Bei Untersuchungen am Nagelfalz wird der Finger in einen anklammerbaren

Fingerhalter gelegt. Für die Hornhautmikroskopie besitzt man eine besonders geeignete Beleuchtungseinrichtung in der Spalllampe nach GULLSTRAND. Als Kamera eignet sich auch hier das „Phoku“ oder irgendeine andere Aufsatzkammer am besten. Die mikrophotographische Einrichtung der Firma ZEISS für Kapillaraufnahmen eignet sich auch zu beliebigen anderen Objekten, die man bei schwachen und mittelstarken Vergrößerungen (bis etwa 100fach) in schief auffallendem Licht photographieren will. Man entfernt dann nur den Fingerhalter und stellt dann das Objekt in einem entsprechenden Behälter auf den Mikroskoptisch.

Ebenso eignet sich zu kapillarmikroskopischen und sonstigen Aufnahmen in schief auffallendem Licht die Aufsatzkamera „Mifilmca“ der Firma LEITZ (Abb 123), da das kleine Bildformat ( $24 \times 36 \text{ mm}^2$ ) recht günstig ist für eine schärfere Wiedergabe der an und für sich schwer scharf einstellbaren Hautkapillaren (vgl. Abb 124) (zur Kapillarmikroskopie vgl. H. BRIEGER [1], G. L. BROWN und F. W. LAMB [1], M. COMEL [1], W. JAENSCH [1], G. MAGNUS [1], O. MÜLLER [1], W. REDISCH [1], P. VONVILLER [5, 6], P. VONVILLER und A. VAN-NOTTI [1], E. WEISS [1]).

#### b) Aufnahmen mit allseitig auffallendem Licht.

**96. Der LIEBERKÜHNsche Spiegel.** Sollen Aufnahmen von Oberflächen gemacht werden, die keine starken Reliefs haben, oder wünscht man die Schattenbildung weitgehend einzuschränken, so wendet man eine allseitig auffallende Beleuchtung an. Diese kann entweder als allseitig schiefe Beleuchtung mit dem LIEBERKÜHNschen Spiegel erzielt werden oder als eine allseitige steile Beleuchtung mit dem Vertikalilluminator (Opakilluminator). Der LIEBERKÜHNsche

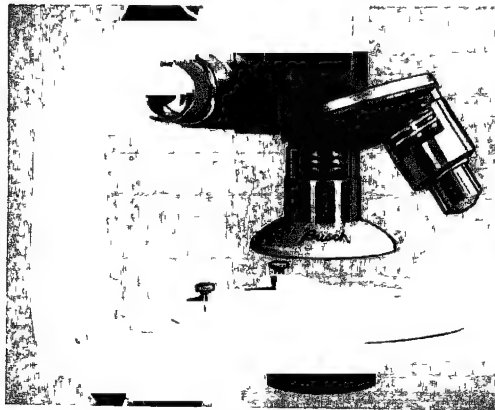


Abb 125 Der LIEBERKÜHNsche Spiegel (Aus BUSCH-Druckschrift: Anleitung zum Gebrauch von Mikroskopen und Nebenapparaten für Untersuchungen in auffallendem Licht.)

Spiegel<sup>1</sup> (Abb 125) stellt einen Aluminiumhohlspiegel dar, dessen Mitte durchbohrt ist (vgl. W. HORN [1]). Man kann ihn bei dieser Bohrung auf die Fassung des Objektivs schrauben oder aber mit einem Halter auf einem doppelten Kugelgelenk zwischen Objektiv und Objekt so aufstellen, daß seine Bohrung zur Öffnung des Objektivs zentrisch steht. Nur solche Objektive lassen sich mit dem LIEBERKÜHNschen Spiegel verwenden, deren Brennweiten nicht kürzer sind als 7 bis 8 mm. Auch die Öffnung des Mikroskoptisches muß einen Durchmesser von mindestens 30 mm haben, und das Objekt darf

keinen größeren Durchmesser als 16 mm aufweisen, damit die Lichtstrahlen neben dem Objekt zum LIEBERKÜHNschen Spiegel gelangen und von hier auf das Objekt reflektiert werden. Das Objekt wird mit einer Glaseinlage auf die Tischöffnung gestellt und von unten mit dem Mikroskopspiegel beleuchtet. Die zentralen Strahlen werden vom Objekt aufgefangen, neben dem Objekt gelangen jedoch Strahlen zu

<sup>1</sup> In seiner Urform mit einem Hohlspiegel zuerst von LIEBERKÜHN (1738) angewandt.

den reflektierenden Flächen des LIEBERKUHNschen Spiegels und werden von hier aus unter verschiedenen Winkeln auf die Oberfläche des Objekts zurückgeworfen (Abb 126). Dort, wo die Tischöffnung enger ist als 30 mm, rüstet man das Objekt mit einer Objektauflage aus, die eine unter  $45^\circ$  geneigte reflektierende Scheibe mit einer zentralen Bohrung darstellt. In diese wird dann das Objekt eingesetzt. Bei LIEBERKUHNschem Spiegel wird von den Firmen BUSCH, Rathenow, und O. HIMMLER, Berlin, hergestellt, welche auch spezielle Objektivsysteme zum aufschraubbaren Spiegel liefern. Wird der Spiegel mit dem Kugelgelenk aufgestellt, so kann man auch andere Objektive verschiedener Firmen benutzen, falls sie die nötige lange Brennweite haben. Da bei kürzerer Brennweite kein Platz zum Aufstellen des Spiegels vorhanden ist, so ist die Anwendung des LIEBERKUHNschen Spiegels auf die Untersuchungen und mikrophotographischen Aufnahmen bei ganz schwachen Vergrößerungen beschränkt. Beleuchtet man mit einer lichtstarken Lichtquelle (Punktlichtlampe, Lihutbogenlampe von LEITZ oder BUSCH), so erhält man sehr geeignete Bilder von geschliffenen Oberflächen, z. B. von Metall-, Holz- oder Knochenschliffen, dann von kleinen Organismen mit zarter Struktur, bei deren Abbildung stärkere Schatten unerwünscht sind.

Statt Aluminium empfiehlt PRESTON Vulkanit zur Herstellung des LIEBERKUHNschen Spiegels, um eine größere Lichtstärke zu erzeugen (solche Spiegel wurden hergestellt von FLATTERS & GARNETT, Manchester). Zweifelsohne eignet sich für eine lichtstärkere Beleuchtung der Parabolspiegel von P. METZNER (6) am besten, der nach der Art des LIEBERKUHNschen Spiegels gebaut ist, jedoch nicht mit einer kugligen, sondern mit einer paraboloiden Hohlspiegelfläche. Von besonderer Bedeutung ist die Stärke des vom LIEBERKUHNschen Spiegel reflektierten Lichts bei Lumineszenzanalysen in auffallendem Licht (s. S. 311), und gerade hier bewahrt sich der Parabolspiegel recht gut.

**97. Der Vertikalilluminator.** Für Untersuchungen und mikrophotographische Aufnahmen in auffallendem Licht bei verschiedenen starken Vergrößerungen pflegt man allgemein die Beleuchtung mit steil auffallenden Lichtstrahlen zu benutzen, so wie man sie mit den Vertikalilluminatoren (Opakilluminatoren) erzielt. Die einfachste Art einer solchen Einrichtung kann man mit einer planparallelen Glasplatte herstellen, indem man die Glasplatte unter  $45^\circ$  geneigt zwischen Objekt und Objektiv aufstellt und dann von der Seite her beleuchtet (Abb. 127). Die Lichtstrahlen werden von der Glasplatte steil von oben auf das Objekt geworfen, und von hier aus wirft sie die Oberfläche des Objekts durch das durchsichtige Glas in die Öffnung des Objektivs zurück. Die optischen Firmen pflegen solche Spiegelglasscheiben für die Mikroskopie in auffallendem Licht schon fertig mit den geeigneten Haltern zu liefern, wie P. METZNER (4 S. 285) angibt, kann man aber auch ein Deckglas mit einem improvisierten Halter aus Blech verwenden. Nach dem Prinzip dieser einfachen Beleuchtungseinrichtung, die selbstverständlich nur zu Untersuchungen bei schwachen Vergrößerungen geeignet ist, sind auch die Vertikal- oder Opakilluminatoren gebaut. Jede

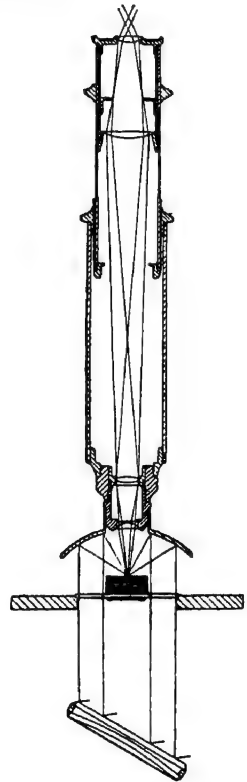


Abb. 126. Der Strahlengang bei Anwendung des LIEBERKUHNschen Spiegels (Aus derselben Quelle wie Abb. 125)

optische Werkstatt baut ihre eigenen Vertikalilluminatoren, die jedoch im Prinzip alle auf zwei Grundformen zurückzuführen sind, nämlich auf den Vertikalilluminator nach BECK und den Vertikalilluminator nach NACHET. Beim Opakilluminator nach BECK (Abb 128 A) finden wir die reflektierende Glasplatte nicht mehr zwischen Objekt und Objektiv, sondern oberhalb des letzteren in einem zylindrischen Zwischenstück so angebracht, daß sie um eine horizontale Achse herumdrehbar und auf verschiedene Neigungswinkel eingestellt werden kann. Das Zwischenstück wird auf das untere Tubusende geschraubt und trägt unten ein Gewinde zum Anschrauben der Mikroskopobjektive. Die

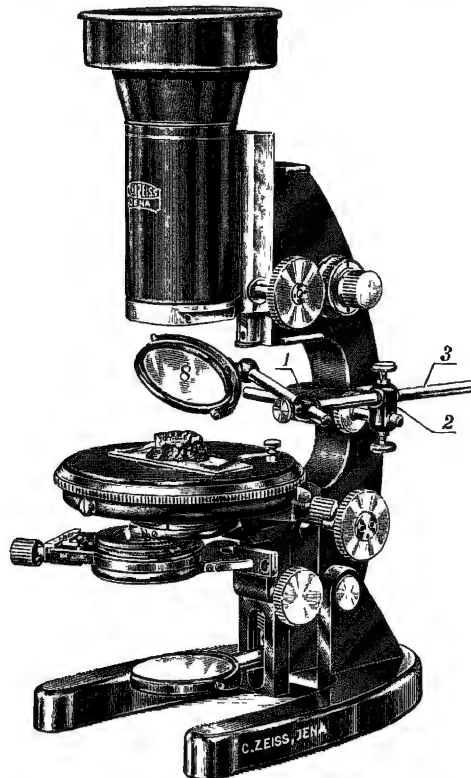


Abb 127. Beck'scher Vertikalilluminator. 1, 2, 3) (Aus ZEISS Druckschrift Mikroskop 401)

Beleuchtung erfolgt durch eine seitliche Öffnung des Zwischenstücks, die in einem Ansatz liegt und mit einer eingebauten Irisblende regulierbar ist. Dieser Öffnung gegenüber ist die Glasplatte durchbohrt oder mit einem dünnen Platinbelag versehen, damit keine Reflexe auf der Glasoberfläche entstehen. Trotzdem werden Reflexe beim BECK'schen Opakilluminator nie ganz zu vermeiden sein. Das Bild ist stets etwas verschleiert und nie so klar wie im durchfallenden Licht. Dabei geht der größte Teil des Lichts verloren. Scharfere Bilder erhält man bei besserer Ausnutzung der Beleuchtung, wenn man statt der Glasplatte ein rechtwinkliges Prisma benutzt, wie wir es beim Vertikalilluminator nach NACHET vorfinden (Abb 128 B). Das Prisma ist ebenfalls drehbar angebracht und liegt so, daß es die Hälfte der Austrittspupille einnimmt. Zwischenstück und Ansatz mit eingebauter Irisblende sind ganz ähnlich gebaut wie beim Vertikalilluminator nach BECK. Der wesentliche Unterschied zwischen den zwei Einrichtungen besteht darin, daß, während beim BECK'schen Vertikalillumi-

inator die ganze Apertur des Objektivs ausgenutzt werden kann, bei der Einrichtung nach NACHET nur die eine Hälfte der Apertur für die Beobachtung zur Verfügung steht. Die einfallenden Strahlen gelangen nämlich nach der Reflexion am Prisma durch die eine Hälfte der Austrittspupille des Objektivs zum Objekt und werden dann durch die andere vom Prisma nicht eingenommene Hälfte in das Auge des Beobachters bzw. auf die photographische Platte zurückgeworfen. Zu Untersuchungen mit schwachen Objektiven benutzt man also den Vertikalilluminator nach NACHET, während man den Opakilluminator nach BECK bei starken Aperturen, namentlich bei Immersionslinsen, vorteilhafter verwenden wird. Neuerdings werden beide Typen miteinander so kombiniert, daß man Glasplatte und Prisma gegeneinander rasch vertauschen kann. So sind z. B. der Vertikalilluminator von der Firma BUSCH und der Opakilluminator der Firma

LERTZ gebaut (Abb 129) Die letztgenannte Firma baut auch den Spalt-Opak-Illuminator nach den Angaben von P VONWILLER, der zu Beobachtungen in

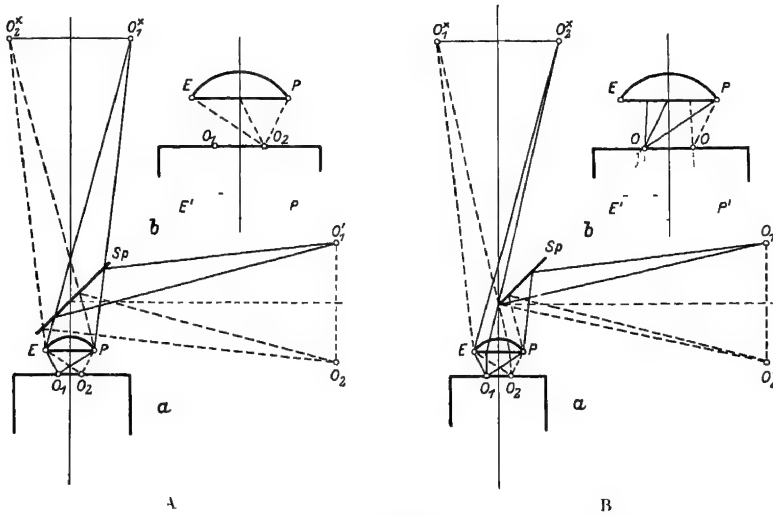


Abb 128 Schema des Strahlenganges bei dem Vertikalluminator nach BICK (A a) und beim Vertikalluminator nach NACHT (B a)

$O_1, O_2$  = Bildebene,  $O_1^*, O_2^*$  = Leuchtläche,  $E, P$  = Eintrittspupille des Objektivs,  $Sp$  = Halbdurchsichtiger Spiegel oder (in B) das Prisma. Bei A b und B b = Beleuchtung eines spiegelnden Objekts (Aus A KÖHLER [9] Abb 235 und 238, S. 292 und 294)

auffallendem Licht bei starken Vergrößerungen besonders geeignet ist, da er scharf definierte Bilder liefert. Das Prinzip, das GULLSTRAND mit der Spalt-

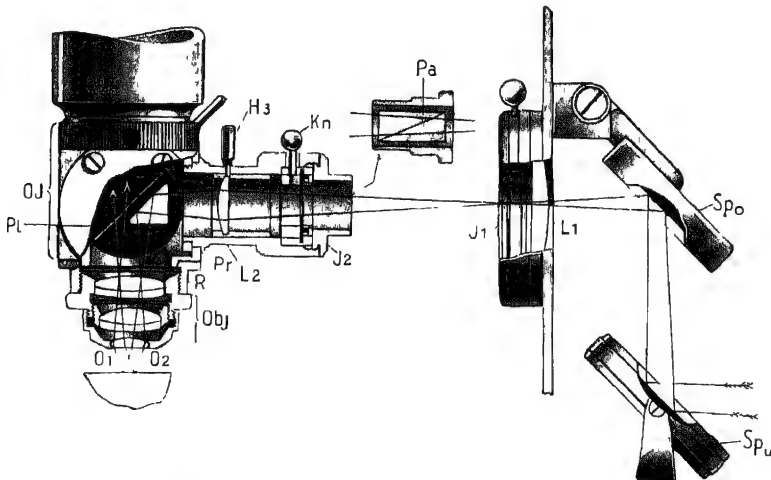


Abb 129 Der große Opakilluminator der Firma L. LERTZ. Schematisch teilweise im Schnitt. Eine entsprechende Lichtquelle ist rechts zu denken

$Sp, Sp_u$  = Spiegelvorrichtung,  $J_1$  und  $J_2$  = Jalousien,  $L_1$  und  $L_2$  = Linsen,  $Pr$  = Prisma,  $Pl$  = Glasplatte,  $O_1, O_2$  = Einstellebene,  $Pa$  = Polarisator zu Untersuchungen in polarisiertem Licht (Aus LERTZ-Druckschnitt Mikro D 2046a)

lampe in die Hornhautmikroskopie eingeführt hatte, wurde hier für die Beleuchtung des Opakilluminators nutzbar gemacht (vgl. VONWILLER [4, S. 466])

Es wurde den Rahmen dieser Ausführungen weit überschreiten, wollten wir die theoretischen Grundlagen der Bilderzeugung im auffallenden Licht eingehender erörtern (vgl. A. KOHLER [9, S. 291], METZNER [4, S. 284]). Auch hier muß jedoch Erwähnung finden, daß man mit dem Vertikalilluminator besondere Objektive in kurzer Fassung benutzen muß, denn die Austrittspupille des Objektivs fällt nur bei solchen richtig auf die reflektierende Ebene des Prismas oder der Glasplatte. Die optischen Firmen haben zu diesem Zweck eine Reihe von Achromaten und Apochromaten mit kurzer Fassung hergestellt. Von den Objektiven der üblichen Form und Fassung sind nur die schwächeren gut zu gebrauchen, wie z. B. ZEISS Achrom 8fach oder LEITZ Achrom 2 und 3. Bei subjektiven Beobachtungen genügen zur Not auch mittelstarke Trockensysteme mit längerer Fassung, für mikrophotographische Aufnahmen kommen jedoch solche nicht in Betracht. Infolge des etwa  $1\frac{1}{2}$ –2 cm langen Zwischenstückes und bei der kurzen Fassung der Objektive wird die Tubuslänge anders sein als die, bei der man in durchfallendem Licht zu beobachten pflegt. Die Objektive mit kurzer Fassung sind daher auf eine Tubuslänge von 190 mm korrigiert, und ihre Einzelvergrößerung ist ebenfalls für diese Tubuslänge angegeben. Von besonderer Bedeutung ist es, daß man die Präparate in unbedecktem Zustand untersuchen muß. Sind die Objekte mit Deckglas und ähnlichen planparallelen spiegelnden Schichten (Kanadabalsam, Dammarlack usw.) bedeckt, so wird das Bild verschleiert. Dementsprechend sind die Objektive in kurzer Fassung auf eine Schichtdicke ohne Deckglas korrigiert. Benutzt man Ölimmersion, so stört das Deckglas nicht, vorausgesetzt, daß das Einschlußmittel eine ähnliche Brechung hat wie das Glas. Bei Untersuchungen mit starken Vergrößerungen benutzt man vorteilhafter statt Trockensystemen Immersionslinsen, von denen die Wasserimmersionssysteme (z. B. ZEISS Apochrom 74fach, Ap 1,25 in kurzer Fassung) zu Untersuchungen an unbedeckten Objekten, die homogenen Ölimmersionssysteme (z. B. LEITZ Ölimmersion 18 mm und 8 mm oder ZEISS Fluoritsystem 95fach, Ap 1,25 und Apochrom 94fach, Ap 1,30 in kurzer Fassung) für Präparate mit Deckglas bestimmt sind. Als Okulare eignen sich die schwachen Systeme besser als die starken.

**98 Die Regelung der Blenden des Vertikalilluminators.** Selbst mit den besten Linsen erreicht man aber schwerlich ein klares, schleierfreies Bild, wenn die Blendenöffnungen, durch die das Licht auf die reflektierenden Flächen fällt, nicht genau der Eigenart des Strahlenganges angepaßt sind. Die verschiedenen an die Luft grenzenden Glasflächen, an denen die einfallenden Lichtstrahlen wiederholt reflektiert werden, erzeugen stets Nebenlicht, das dann mit den bild erzeugenden Strahlen gemeinsam in das Auge oder auf die photographische Platte gelangt. Dieses störende Nebenlicht läßt sich bei den Vertikalilluminatoren nie restlos ausschalten, und die Kunst der Beleuchtung besteht hauptsächlich darin, daß man das Nebenlicht, welches die Verschleierung des Bildes hervorruft, auf ein Mindestmaß einschränkt. Dieses Ziel erreicht man am besten, wenn man die zwei Blendenöffnungen, welche den einfallenden Lichtstrom abgrenzen, die Leuchtfeldblende und die Aperturblende, so eng als noch zulässig zuzieht. Die Leuchtfeldblende der Beleuchtungseinrichtung ist auch hier die Insblende, welche als Kollektorblende in das Lampengehäuse eingebaut oder knapp hinter der Lampe aufgestellt ist. Die Aperturblende befindet sich im Ansatz des Vertikalilluminators in Form einer kleinen Insblende, welche die seitliche Öffnung des Zwischenstückes begrenzt. Begreiflicherweise kann man die Aperturblende über ein bestimmtes Maß hinaus nicht zuziehen, ohne wesentliche Bezüge der Apertur und damit sowohl die Helligkeit des Bildes als seine Auflösung zu beeinträchtigen. Man kann aber die Leuchtfeldblende stärker verengern, denn

man opfert so hochstens nur die Randbezüge des Gesichtsfelds, ohne die Helligkeit oder die Auflösung des Bildes zu beeinflussen

**99. Beleuchtung und Einstellung.** Die Beleuchtung und Einstellung des mikroskopischen Bildes mit einem Vertikalilluminator — gleichgültig, welches System man auch benutzt — erfolgt nun in dieser Weise. Man stellt die Lichtquelle etwa 35 cm vor dem Mikroskop auf, so daß die Lichtstrahlen von

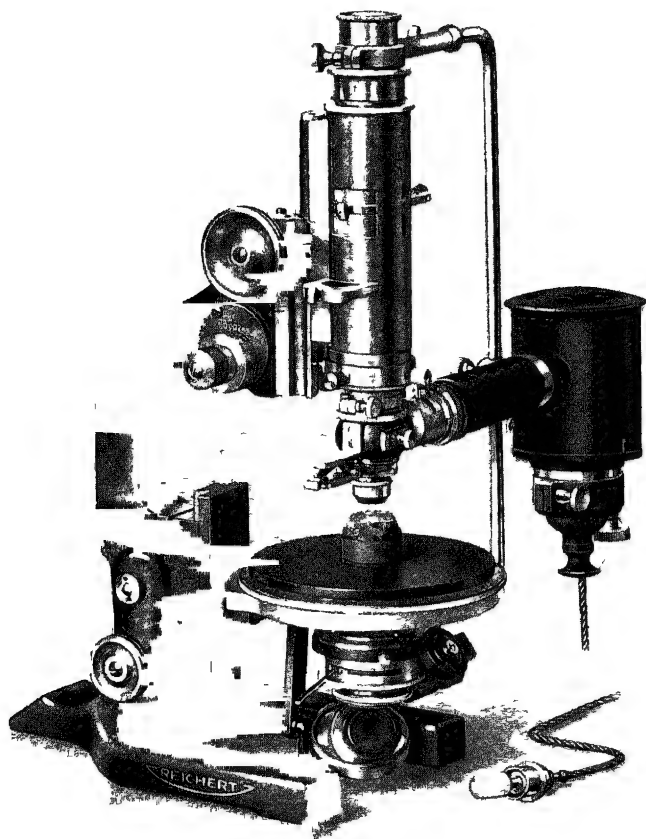


Abb. 130. Vertikalilluminator der Firma C. REICHERT

der Lampe in den Ansatz des Vertikalilluminators fallen. Punktlichtlampen, Leuchtbogenlampen lassen sich auf ihrem Fußgestell in die entsprechende Höhe stellen; andere zum Vertikalilluminator angefertigte Lampen (z. B. die Mikroskopierlampe der Firma ZEISS zum Vertikalilluminator) sind mit einer Kollektorlinse ausgerüstet, die gehoben oder gesenkt werden kann. Am besten arbeitet man aber mit einem Mikroskopstativ, dessen Objektisch heb- und senkbar ist (sog. metallographisches Stativ, s. Abb. 178). Beim Objektivwechsel kann an solchen Stativen die grobe Einstellung durch Heben und Senken des Objekts erfolgen, und die Lichtquelle braucht nicht verstellt und neu zentriert



zu werden wie stets dort, wo beim Objektivwechseln der Mikroskoptubus gesenkt oder gehoben werden muß. Die Höhenunterschiede infolge Betätigung der feinen Einstellung haben auf die erfolgte Zentrierung der Beleuchtung keine störende Wirkung mehr.

Dort, wo kein senkbarer Mikroskoptisch zur Verfügung steht, vermeidet man die Unannehmlichkeiten der Ausrichtung der Lichtquelle nach jedem Objektivwechsel am besten durch Vertikal- oder Opakilluminatoren mit eingebauter Lichtquelle. Solche werden von den optischen Firmen FUESS, Berlin (s. S. 251) und C. REICHERT, Wien, gebaut. Die REICHERTSche Einrichtung zeichnet sich durch eine genau ausgerichtete lichtstarke Beleuchtung aus (Abb. 130) (vgl. VANNOTTI [1]), die sich auch zu mikrophotographischen Aufnahmen eignet. Eingebaute Niedervoltlampchen sind jedoch in der Hauptsache nur für subjektive Beobachtungen bestimmt.

Die Ausrichtung des Strahlenganges erfolgt zweckmäßig in einem verdunkelten oder nur mäßig beleuchteten Raum, und man benutzt zur Kontrolle des Strahlenganges eine Mattscheibe oder ein Stück weißes Papier. Erst öffnet man die Leuchtfeldblende vollständig und zieht die Aperturblende ganz zu. Jetzt trachtet man, daß auf der Aperturblende (bzw. auf der vor die Blende gehaltenen Mattscheibe) die Lichtquelle scharf abgebildet wird (Mattscheibe zwischen Lampe und Kollektorlinse entfernen!). Ist das geschehen, so schließt man die Leuchtfeldblende bis auf einen kleinen Kreis, legt ein Stück Papier, am besten ein Stück rotes Papier, auf das man mit Tusche ein Zeichen gemacht hat, auf den Mikroskoptisch, öffnet die Aperturblende vollständig und stellt das schwachste Objektiv auf das Papier ein, bis das Leuchtfeld scharf und hell auf der Papierfläche erscheint. Nun kann man in das Mikroskop hineinschauen und die Blendenöffnungen wie auch die Stellung des Prismas (bzw. der Glasplatte) und des Ansatzes endgültig regeln. Man stellt dazu die Schrift oder das Kreuz in das Sehfeld ein und beobachtet, ob das beleuchtete Sehfeld groß genug ist, ob es konzentrisch zur Öffnung des Objektivs steht, ob es hell erscheint und schließlich, ob die Abbildung scharf ist. Liegt der helle Kreis des Leuchtfelds richtig in der Öffnung der Linse, ist jedoch so klein, daß wesentliche Teile des Sehfelds unbeleuchtet bleiben, so öffnet man die Leuchtfeldblende, bis die Teile des Sehfelds, auf deren Abbildung man Wert legt, gerade ausgeleuchtet sind. Weiter als unbedingt notwendig soll man die Leuchtfeldblende nicht öffnen, selbst auf die Gefahr hin nicht, daß Randeile eines größeren Sehfelds — wie man solches bei schwachen Objektiven erhält — unbeleuchtet bleiben. Liegt der helle Kreis exzentrisch rechts oder links im Sehfeld, so ist das ein Zeichen, daß der Ansatz des Vertikalilluminators nicht genau in den Strahlengang der Beleuchtung eingestellt ist. Da der Ansatz auf dem Zwischenstück mit einem drehbaren Ring versehen ist, dreht man an diesem Ring, bis die Leuchtfäche im Sehfeld zentrisch liegt. Beim Vertikalilluminator nach NACHET kann das beleuchtete Sehfeld auch nach oben oder nach unten exzentrisch liegen, wenn das Prisma nicht genau unter  $45^\circ$  geneigt ist. Bemerkt man also etwas Derartiges, so dreht man am Drehknopf des Prismas und stellt es dadurch mit seiner reflektierenden Fläche in den Strahlengang ein. Sowohl beim Vertikalilluminator nach NACHET wie bei jenem nach BECK hängt die Kontrastwirkung des Bildes vom Neigungswinkel der reflektierenden Flächen vielfach ab. Man muß also durch kleine Drehungen am Prisma oder auf der planparallelen Glasplatte die günstigste Stellung ermitteln, bei der die abzubildende Struktur sich von der Unterlage am schärfsten und klaren abhebt. Man wird dann bald bemerken, daß trotz genauer Einstellung der Objektivlinse und trotz Drehung an dem Prisma oder der Glasplatte das Bild keine vollkommene Scharfe und Klarheit zeigt, solange die Aperturblende zu weit geöffnet ist.

Testobjekte mit einer roten Farbe sind gerade deshalb sehr geeignet, weil man an diesen leicht bemerken kann, wann die Öffnung der Aperturblende zu weit ist. In letzterem Fall wird man nämlich die rote Farbe kaum erkennen, und das ganze Sehfeld scheint wie mit einem weißen Schleier bedeckt. Je mehr man die Aperturblende zuzieht, um so leuchtender tritt die rote Farbe des Testobjekts hervor. Man engt also die Aperturblende dementsprechend ein und läßt sie in dieser mit dem Testobjekt ermittelten Lage. Bei Objektiven von verschiedenen Aperturen wird selbstverständlich die günstige Öffnung der Aperturblende verschieden groß sein, ein Umstand, der beim Wechseln des Objektivs stets beachtet werden soll. Mit dem Vertikalilluminator nach NACHET wird man selbst bei günstigster Beleuchtung nur die Mitte des Sehfelds klar und scharf erhalten, die Ränder werden stets weniger hell und weniger scharf erscheinen. Beobachtet man also mit dem Vertikalilluminator nach NACHET, so muß man nachtraglich noch die Leuchtfeldblende so weit zuziehen, bis die Beleuchtung nur auf den Mittelteil des Sehfelds begrenzt ist. Bei den schwachen Vergrößerungen, zu denen man diese Vertikalilluminatoren zu benutzen pflegt, genügt auch das so verringerte Sehfeld für die Untersuchungen oder zu den photographischen Aufnahmen. Wünscht man jedoch ein größeres Sehfeld bei einer schwachen Vergrößerung, so empfiehlt es sich, statt des Vertikalilluminators das einfache Planglas (s. S. 229) zur Beleuchtung im auffallenden Licht zu benutzen. Bei Untersuchungen oder mikrographischen Aufnahmen mit starken oder stärksten Vergrößerungen erhält man, wie schon früher erwähnt, mit einer spaltförmigen Leuchtfeldblende (Spalt-Opak-Illuminator nach P. VONVILLER) die scharfsten Bilder mit dem geringsten (kaum bemerkbaren Anteil) an Nebenlicht.

Aus der Konstruktion des Vertikalilluminators ist klar ersichtlich, daß die Lichtstrahlen zwar steil, aber doch schief von allen Seiten her auf das Objekt fallen. Mit dem Vertikalilluminator nach BECK kann man allerdings bei genau unter  $45^\circ$  gestellter Glasplatte eine Beleuchtung erzielen, wo die Strahlen nahe der optischen Achse fast senkrecht auf das Objekt fallen. Mit dem Vertikalilluminator nach NACHET erhält man aber stets eine schiefe Beleuchtung, wenn auch der Einfallswinkel und der Reflexionswinkel der Lichtstrahlen geringer sind als bei einem LIEBERKUHNSchen Spiegel. Dementsprechend geht auch vom reflektierten Licht weniger verloren, und die Helligkeit des Bildes ist größer als bei den sonstigen Arten von schiefer Beleuchtung. Die Helligkeit eines bei derselben Vergrößerung mit durchfallendem Licht gut beleuchteten mikroskopischen Bildes erreicht man aber mit einem Vertikalilluminator nie.

**100 Die graphische Wirkung des Auflichtbildes.** Das Bild, das man erhält, entspricht einem Hellfeldbild insofern, als man die abgebildeten Strukturen auf einem leuchtenden hellen Grund erblickt. Der Kontrast zwischen Struktur und Hintergrund hängt von der Färbung der Oberfläche und dem Grad der Reflexion am Oberflächenelement ab (Abb. 131). Helle Strukturen auf

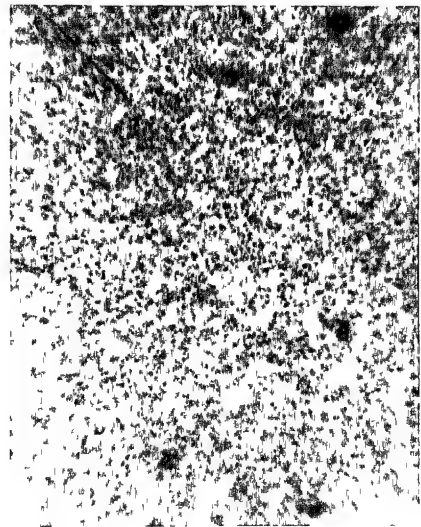


Abb. 131. Körnung einer entwickelten photographischen Platte. BUSCH Vertikalilluminator mit Prisma. BUSCH-Obj. Em. (40,3fach), Homal IV, Kummertlänge 40 cm. Punktlicht um  $2W$ , Belichtung 2 Min.

dunklem Grund werden also hell (einem Dunkelfeldbild ähnlich), dunkle auf hellem Grund aber dunkel erscheinen (einem Hellfeldbild ähnlich). Der Unterschied in der Lichtabsorption spielt für die Bilderzeugung eine weit größere Rolle als bei einer Beleuchtung mit durchfallendem Licht. Noch wichtiger ist jedoch die Rolle der Brechung und Beugung, welche die Lichtstrahlen an den mikroskopischen Rauheiten der Oberfläche (Oberflächenrelief) erfahren. Ist dieses Oberflächenrelief genügend ausgebildet, so erhält man scharfe und anschauliche Bilder mit dem Vertikalilluminator (z. B. von geätzten Metalloberflächen [s. Abb. 155], Schnittflächen von pflanzlichen oder tierischen Organen usw.). Zeigt aber die Oberfläche keine im mikroskopischen Sinne ausgeprägten Reliefstrukturen, so wird der Vertikalilluminator nur dann ein objektähnliches Bild liefern können, wenn das Zeichnungsmuster der Oberfläche aus einem Mosaik von matten und glänzenden oder von ganz dunklen und ganz hell gefärb-

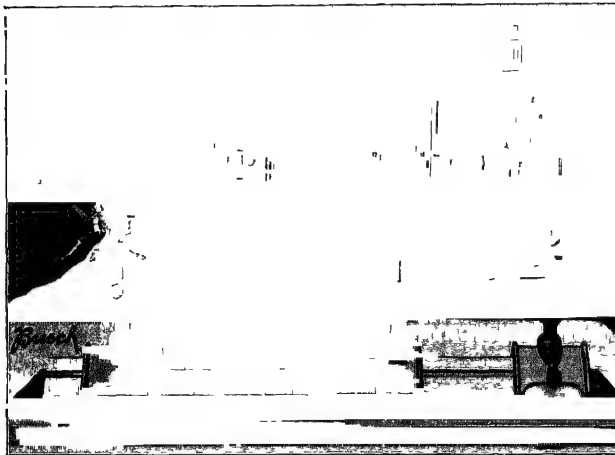


Abb. 132. Beleuchtungsanordnung für Auflichtmikroskopie mit dem Schräglichtilluminator nach F. HAUSER (Aus BUSCH-Druckschrift „Gebrauchsanweisung für den Schräglichtilluminator“, Abb. 1)

ten Teilchen besteht. Bei polierten und glänzenden Oberflächen werden in jedem Fall wesentliche Züge des Zeichnungsmusters unsichtbar bleiben und nur zufällige Ritze oder sonstige Beschädigungen der Oberfläche im Bild scharf erscheinen. Die Politur der Oberfläche oder eine spiegelnde Flüssigkeitsschicht an der Oberfläche werden nämlich das Licht von der ganzen Oberfläche zurückwerfen, so daß der größte Teil des auffallenden Lichts gar nicht zur Struktur gelangen kann,

und selbst der Teil der Lichtstrahlen, der bis zur eigentlichen Struktur durchdringt und hier in verschiedenem Maße absorbiert oder mit verschiedenen Wellenphasen zurückgeworfen wird, kann seine bilderzeugende Wirkung nicht entfalten, da das Reflexlicht der Oberfläche die bilderzeugenden Strahlen überstrahlt.

**101. Der Schräglichtilluminator** Zur Untersuchung und mikrophotographischen Abbildung solcher glatten Oberflächen, bei denen die Strukturelemente sich nur durch ihre Färbung voneinander unterscheiden, eignet sich besonders gut der Schräglichtilluminator von HAUSER (3), der von der Firma BUSCH hergestellt wird. Die Beleuchtung mit diesem Apparat ist, wie schon die Benennung zeigt, eine ausgesprochen einseitig (oder auch doppelseitig) schiefe Beleuchtung, die man bei schwachen wie bei starken Vergrößerungen anwenden kann (Abb. 132). Der Apparat wird an der Fassung des Objektivs so befestigt, daß das Licht von der Lichtquelle (einer Kohlenbogen- oder Punktlichtlampe) waagrecht auf die plane Eintrittsfläche einer Prismenkonstruktion fällt. Die andere, der Frontlinse zugewandte Fläche des schräg gestellten Prismas ist zu einer Linsenfläche geschliffen, so daß sie als Kondensor funktioniert und die durch das Prisma abgelenkten Strahlen genau unterhalb der Frontlinse konzentriert. Die ganze Einrichtung ist so klein, daß man sie mit einem Schraubengewinde an einem zwei-

oder vierteiligen Revolver (dem Beobachtungsobjektiv gegenüber) befestigen oder mit einer Klammer zwischen Tubus und Objektiv einklemmen kann. Alle Objektive, deren Brennweite nicht größer als 25 mm ist, können mit dem Schräglichtilluminator gut benutzt werden, so auch Immersionslinsen, z. B. die Objektive von LEITZ, Ölmersion 16 und 8 mm. Als Trockensysteme haben sich nach den Erfahrungen von VONWILLER und VANNOTTI (1) die Objektive der Firma BUSCH Am, Bm, Cm gut bewährt.

Eine Hauptbedingung zum Gebrauch des Schräglichtilluminators namentlich für mikrophotographische Aufnahmen ist eine sehr intensive Beleuchtung der spiegelnden Fläche. Am besten stellt man die Beleuchtungseinrichtung, d. h. eine Gleichstrombogenlampe, eine Kuhlkuvette und eine Irisblende auf der optischen Bank vor dem Mikroskop auf (Abb. 132). Die Gleichstrombogenlampe, mit einem asphärischen Kondensor ausgerüstet, befindet sich etwa 40 cm vom Mikroskop entfernt. Die

Kuhlkuvette, mit MOHRsche Salzlosung gefüllt, ist hauptsächlich bei hitzeempfindlichen Objekten (z. B. bei Untersuchungen an Hautkapillaren) notwendig, da das konzentrierte Licht eine hohe Temperatur verursacht und die Objekte schädigen kann. Mit der Kuvette verbunden oder auf einem eigenen Reiter hinter der Kuvette befindet sich die Irisblende, welche hier die Leuchtfeldblende darstellt, und deren Öffnung von der Sammellinse des Schräglichtilluminators scharf auf das Objekt abgebildet werden

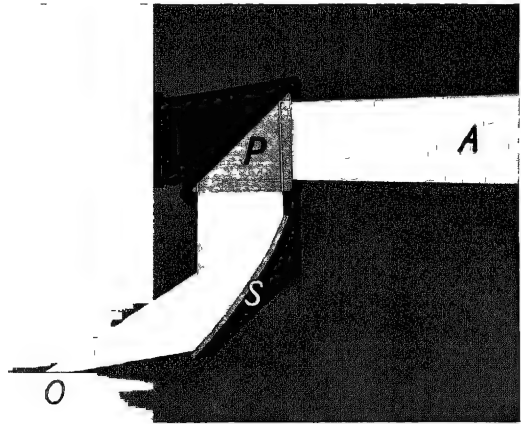


Abb. 133. Der Schräglichtilluminator der Firma C. REICHERT.  
L = Lichtstrahl von der Lichtquelle, P = Prisma, S = Hohlspiegel,  
O = Objekt. (Aus REICHERT Druckschnitt, Liste 312.)

soll. Um das zu ermöglichen, muß die Blende 65 mm vor der Eintrittsfläche des Schräglichtilluminators entfernt stehen. Was das Mikroskopstativ anbelangt, so eignen sich auch zu den Untersuchungen mit dem Schräglichtilluminator am besten solche, die mit einem heb- und senkbaren Tisch ausgerüstet sind (s. S. 233). Auch hier wird natürlich die Eintrittsfläche des Schräglichtilluminators bei jeder Änderung der Einstellung mit der Grobbewegung des Mikroskoptubus aus dem Strahlengang der Beleuchtung verschoben, und sie muß von neuem durch Hebung oder Senkung der Lichtquelle oder des Schräglichtilluminators in den Strahlengang eingestellt werden.

Der Schräglichtilluminator der Firma C. REICHERT, Wien (Abb. 133), stellt einen ähnlichen sehr handlichen Apparat dar, bei dem jedoch die von einem Prisma nach unten gelenkten Strahlen nicht durch eine Linse (einem Kondensor) schräg auf das Objekt konzentriert werden wie beim Apparat von HAUSER, sondern mit einer kleinen hohlgeschliffenen Spiegelfläche. Sonst ist die Handhabung die gleiche wie beim Schräglichtilluminator der Firma BUSCH.

Wie die Erfahrungen von HAUSER (2) und P. VONWILLER u. A. VANNOTTI (1) beweisen, vereint der Schräglichtilluminator die Vorteile der einseitig schiefen Beleuchtung mit denen des Vertikalilluminators (Abb. 134). Dadurch, daß man mit dem Schräglichtilluminator kein gespiegeltes, sondern nur ein diffus reflek-

tiertes Licht von den horizontalen Flächen des Objekts in die Öffnung des Objektivs bekommt, erzielt man bei kapillarmikroskopischen Untersuchungen feinere Kon-

trastwirkungen, und bei Untersuchungen auf stark spiegelnden Flächen, wo der Vertikalilluminator versagt, erhält man eine tonrichtige Wiedergabe des farbigen Zeichnungsmusters (auf orthochromatischen Platten) HAUSER hat mit dem Schräglichtilluminator Momentaufnahmen von lebenden Blutkapillaren bei 70facher Vergrößerung mit einer Belichtungszeit von  $\frac{1}{25}$  Sekunde und auch einwandfreie mikrokinoematographische Aufnahmen erzielt

Der Schräglichtilluminator kann auch mit einem LIEBERKUHNschen Spiegel oder einem zweiten Schräglichtkondensor kombiniert werden, wobei man eine gemeinsame Haltevorrichtung für beide Schräglichtkondensoren benutzt Die Kombination mit einer allseitigen schiefen Beleuchtung (LIEBERKUHNscher Spiegel) hat in manchen Fällen den Vorteil, daß allzu starke Schatten ausgeglichen werden, die Beleuchtung mit zwei Schräglichtilluminatoren steigert wiederum die Helligkeit der Beleuchtung in hohem Maße

Abb 134 Körnelung einer entwickelten photographischen Platte bei einer Aufnahme mit dem Schräglichtilluminator der Firma E. BUSCH (Linse nfolge, Lichtquelle und Belichtungszeit wie bei der Abb 131)

**102. Der Auflicht-Dunkelfeldkondensor.** Da auch das mit dem Schräglichtkondensor erzeugte Bild einem einseitig schief beleuchtetem Hellfeldbild entspricht, so haben wir bisher nur die Möglichkeit kennengeleint, wie man die Objekte im Hellfeld mit auffallendem Licht abbilden kann Es gibt jedoch auch Einrichtungen zur Erzeugung von Dunkelfeldbildern in auffallendem Licht, nämlich den Auflicht-Dunkelfeldkondensor nach HAUSER (von der Firma BUSCH hergestellt), die Dunkelfeldeinrichtung nach SPIERER, das Ultiopak nach HEINE von der Firma LEITZ und die Auflichtgeräte der Firma C. ZEISS

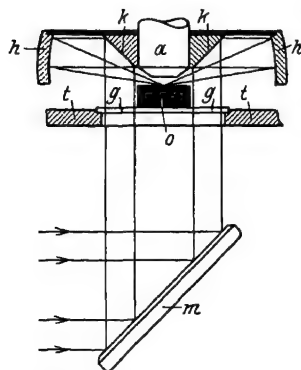


Abb 135 Dunkelfeldkondensor nach F. HAUSER im Auflicht  
 $\alpha = 90^\circ$   
 $k =$  Kondensor,  
 $a =$  Objekt,  $g =$  Glasplatte,  $t =$  Tischplatte,  $m =$  Mikroskopspiegel  
 (Aus BUSCH Druckschrift)

Das Prinzip der Beleuchtung ist beim Auflichtkondensor von HAUSER (I) und ebenso bei der SPIERERschen Einrichtung dasselbe wie beim LIEBERKUHNschen Spiegel (Abb 135) Das Objekt wird auf eine Glasplatte auf der breiten Tischöffnung gestellt (bei etwas durchscheinenden Objekten nimmt man eine schwarzglanzend lackierte Glasplatte als Unterlage) und von unten mit dem Mikroskopspiegel so beleuchtet, daß die Lichtstrahlen neben dem Objekt auf die spiegelnde Fläche des Auflichtkondensors von HAUSER oder bei der SPIERERschen Einrichtung auf den LIEBERKUHNschen Spiegel, mit dem man das Objektiv ausgerüstet hat, gelangen Beim Auflichtkondensor hat man, wie Abb 135 zeigt, einen inneren kegelformigen Spiegel rings um das Objektiv herum Erst fallen die Beleuchtungsstrahlen auf diesen Spiegel, und von hier aus werden sie radial nach außen auf die Hohlspiegelfläche geworfen Die Strahlen werden dann von dieser unter sehr

steilem Winkel auf das Objekt fallen, so daß das Objekt im Hellfeld mit auffallendem Licht abgebildet wird. Es gibt jedoch auch Einrichtungen zur Erzeugung von Dunkelfeldbildern in auffallendem Licht, nämlich den Auflicht-Dunkelfeldkondensor nach HAUSER (von der Firma BUSCH hergestellt), die Dunkelfeldeinrichtung nach SPIERER, das Ultiopak nach HEINE von der Firma LEITZ und die Auflichtgeräte der Firma C. ZEISS

großem Einfallswinkel fast streifend auf das Objekt geworfen und erzeugen auf einem dunklen Hintergrund leuchtende Strukturbilder des Oberflächenreliefs (Abb 156). Der Auflichtkondensor läßt sich nur bei schwachen und mittelstarken Vergrößerungen anwenden, da bei Objektiven von kurzen Brennweiten der Außenrand des Kondensors auf die Tischplatte stößt. Man braucht aber auch keine stärkere Vergrößerung als etwa 70—75fach (Objektiv EM BUSCH, Ok 5fach) zu den Objekten, die man mit dieser Art von Beleuchtung vorteilhaft untersuchen kann, z. B. bei Untersuchungen an Metallen, Textilwaren, Papier usw. (vgl. KLUGHARDT [1]). Selbst dort, wo man die kolloide Struktur an den Oberflächen von Flüssigkeitsschichten oder Gallerten mit diesem Apparat untersuchen will, erhält man schon bei der erwähnten Linsenfolge ein für den Zweck der Untersuchung ausreichendes Dunkelfeldbild (A. KUNTZEL [1]). P. VONWILLER und A. VANNOTTI [1] haben den Auflichtkondensor auch zu kapillarmikroskopischen Untersuchungen am Nagelrand des Menschen adaptiert und das kreisende Blut im Dunkelfeld bei stärkeren Vergrößerungen (LEITZ Obj. hom. Imm. 8 mm, Ok 5fach) untersucht.

Mit dem zentral abgeblendeten Objektiv nach SPIERER (s. S. 211) in Verbindung mit einem LIEBERKUHNSchen Spiegel erhält man ebenfalls brauchbare Dunkelfeldbilder bei stärkeren Vergrößerungen<sup>1</sup>. Die Beleuchtung erfolgt mit dem SPIERERSchen Kondensor oder mit einem gewöhnlichen Kondensor von geringer Apertur und langer Brennweite (z. B. mit einem aplan. Kondensor ohne Frontlinse). Obwohl man mit der SPIERERSchen Einrichtung so starke vergrößerte Bilder im Dunkelfeld erzeugen kann als mit dem Auflichtkondensor, ist der Dunkelfeldeffekt nicht so ausgeprägt wie beim letzteren. Namentlich in mikrophotographischen Aufnahmen erscheint der Hintergrund nicht dunkel und deshalb das Dunkelfeldbild nicht kontrastreich genug.

### 103. Das Ultropak (vgl. H. HEINE [2])

In neuester Zeit (1931) hat die Firma LEITZ eine optische Einrichtung für die Ultra-beleuchtung im Auflicht geschaffen, das Ultropak nach HEINE, welche den Forderungen nach allen Richtungen hin in bester Weise entspricht. In der Konstruktion lassen sich zwei Hauptteile unterscheiden: die Beleuchtungseinrichtung und das spezielle optische System mit Ringkondensor, durch deren Zusammenwirken das Dunkelfeld im Auflicht erzeugt wird. Die Beleuchtungseinrichtung (Abb. 136) besteht aus einem Kondensorsystem mit Sektorenblende in dem von den Vertikalilluminatoren her bekannten waagerechten Ansatzrohr. Durch diesen Kondensor wird das einfallende Licht auf spiegelnde Flächen konzentriert, welche die Strahlen senkrecht nach unten auf den Ringkondensor des Objektsystems lenken. Das Objektsystem ist nämlich so gebaut (Abb. 137) — und darin besteht das grundsätzlich Neue der Konstruktion<sup>2</sup> —, daß in seiner Mitte in einer eigenen engen Fassung die abbildenden Linsen untergebracht sind, in einer breiteren äußeren Fassung aber ein

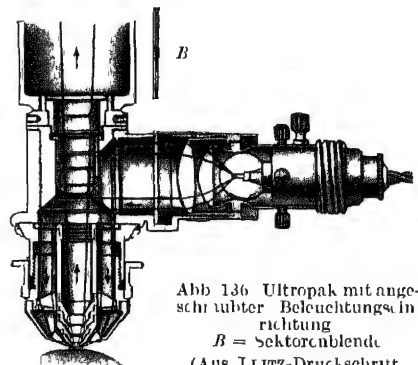


Abb. 136. Ultropak mit angeschalteter Beleuchtung in Richtung  
B = Sektorenblende  
(Aus LEITZ-Druckschrift Mikro D 7083)

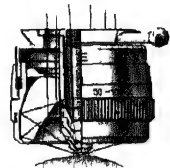


Abb. 137. Spezial-Spiegelkondensor zum Ultropak. (Aus LEITZ-Druckschrift Mikro D 7083)

<sup>1</sup> Bisher ist nur das Immersionssystem<sup>1</sup> von LEITZ oder ZEISS mit einer Zentralblende ausgerüstet worden.

<sup>2</sup> Das Grundprinzip stammt von CHAPMAN und ALDRIDGE.

Spiegelkondensor eingesetzt ist, dessen Brennweite genau derjenigen des abbildenden Systems angepaßt ist. Die von der Beleuchtungseinrichtung nach unten gelenkten Strahlen können nur in den Innenraum der äußeren Fassung gelangen und fallen so auf den Ringkondensor, von dem sie in den Brennpunkt des abbildenden Systems konzentriert werden. Da die zentralen Strahlen auf diese Weise nicht zur Beleuchtung gelangen können — die Mitte des Spiegelkondensors ist ja von der Fassung des abbildenden Systems eingenommen, die hier die Rolle einer zentralen Blende erfüllt — erfolgt also die Beleuchtung nur mit allseitig schief auffallenden Randstrahlen und erzeugt ein Dunkelfeld. Die Apertur der schief auffallenden Randstrahlen ist von der Brennweite des Ring-

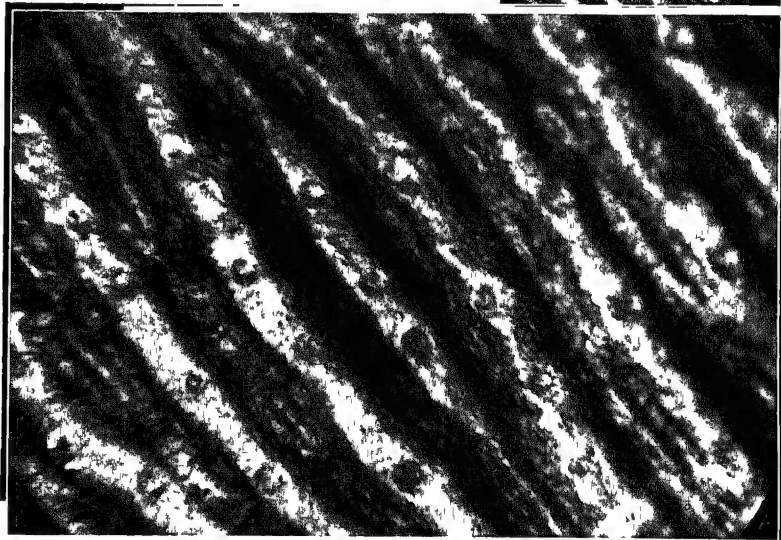
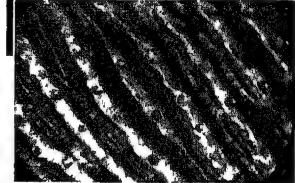


Abb 138 Schweißdrüsenöffnungen an der Kuppe des linken Mittelingers U-O (Ultrapaksystem) 3 Stach, periplan Ok Stach Vergr. 30,4fach Belichtungszeit 2'' (Aus LEITZ Druckschrift Mikro D 7083)

kondensors bedingt und der Brennweite oder der Apertur des abbildenden Systems angepaßt. So erzeugt man mit den entsprechenden Ultrapakobjektiven in Verbindung mit passenden Okularen<sup>1</sup> von den schwachsten bis zu den stärksten Vergrößerungen einwandfreie Dunkelfeldbilder und Dunkelfeldphotogramme im Auflicht (Abb 138 und 139).

Als Lichtquelle wird von der Firma LEITZ ein Niedervoltglühlampchen (8 Volt, 0,8 Amp) geliefert, das in das Aufsatzrohr vor den Kondensor eingeschraubt wird. Seine Lichtstärke genügt zur subjektiven Beobachtung vollkommen und gestattet sogar photographische Aufnahmen mit den Aufsatzkameras von kleinem Format („Mifilmca“, „Makam“). Zu mikrophotographischen Aufnahmen verwendet man jedoch zweckmäßiger das stärkere Licht von Bogenlampen und setzt dafür an Stelle des Niedervoltlampchens den trichterförmigen Beleuchtungsansatz. Hinter dem Beleuchtungskondensor befindet sich ein Schlitz im Aufsatzrohr, durch welchen man je nach Bedarf Filter in den Strahlengang einschalten kann.

<sup>1</sup> Siehe LEITZ-Druckschrift Mikro D 7083 und H. HINTZ (2)

Die Einstellung des Objektivs erfordert keine besonderen Maßnahmen, zur richtigen Erzielung der für das Objekt günstigsten Dunkelfeldbeleuchtung muß man jedoch den Ringkondensor genau in die Höhe stellen, von wo aus die schief auffallenden Strahlen das Objektfeld gleichmäßig beleuchten. Dafür lassen sich die Ringkondensoren in ihren Fassungen durch einen Ring in ähnlicher Weise verstellen wie die Korrektionslinsen an einer Korrektionsfassung. Die mittlere Stellung ist für jedes Objektiv angezeigt, bei jedem Objekt muß dann die günstigste Stellung durch Probieren festgestellt werden.

Eine besondere und für die Untersuchung lebender Objekte sehr vorteilhafte Wirkung der

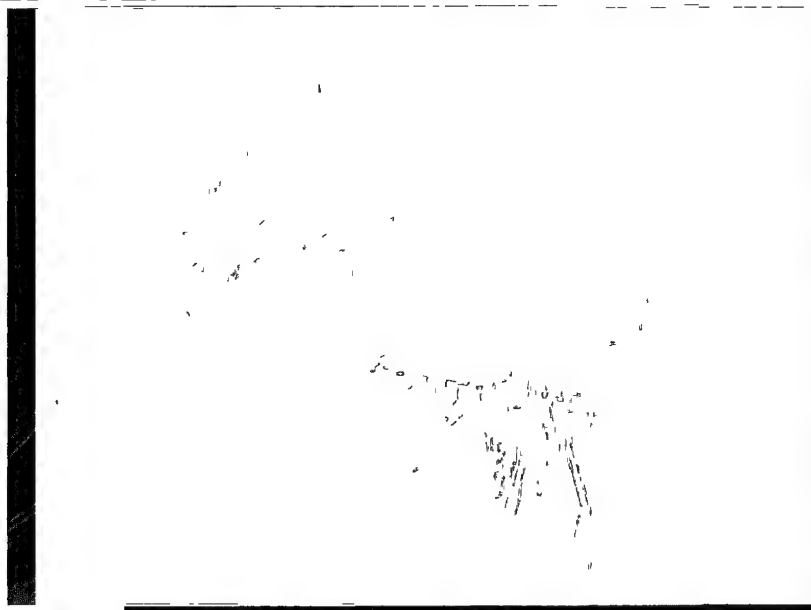
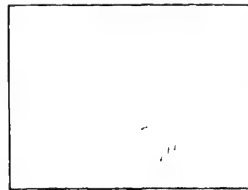


Abb. 139 Einschlüsse im Glimmer (Tiefenbeobachtung) U-O 100fach, periplan Ok 10fach Vergr. 1000fach  
Belichtungszeit 30 (Aus LEITZ Druckschnitt Mikro D 7083)

Ultropakbeleuchtung liegt darin, daß man in verschiedenen Tiefen des Objekts Schichten elektiv beleuchten kann, ohne daß die darüberliegenden Schichten optisch stören würden (Tiefenbeobachtung). Einer solchen Tiefenbeobachtung sind natürlich ziemlich enge Grenzen gezogen, immerhin kann man aus den unter der (durchsichtigen!) Oberfläche liegenden Schichten bedeutend bessere Bilder erhalten als dies bisher mit anderen Arten der Auflichtmikroskopie möglich war. Vorteilhaft für die Tiefenbeobachtung sind die Immersionsobjektive. Man soll möglichst mit einem kleinen Immersionstropfen arbeiten, da die Form und Größe des Tropfens den Dunkelfeldeffekt ungünstig zu beeinflussen vermag.

Wie beim Vertikalluminator wird man auch mit dem Ultropak vorzugsweise Objekte ohne Deckglas untersuchen (die Objektive sind auf Objekte ohne Deckglas korrigiert), wobei jedoch bemerkt sei, daß eine Verschleierung des Bildes durch Deckglasreflexe hier weit weniger zu befürchten ist als bei den Vertikalluminatoren. Der Hauptvorteil des Ultropaks besteht ja eben darin, daß



man von lebenden und leblosen Objekten in ihrer natürlichen Beschaffenheit bei verschieden starken und bis zu den stärksten Vergrößerungen Dunkelfeldbilder erhalten kann, und so wird man auch das Ultropak in der Hauptsache bei solchen Objekten anwenden.

Die mikrophotographischen Vorschriften bleiben dieselben wie bei einer Dunkelfeldaufnahme (s S 212 ff). Ist der Strahlengang von der Lichtquelle bis zur Objektebene gut zentriert, so erhält man ein lichtstarkes Dunkelfeldbild, dessen photographische Aufnahme keine längere Belichtungszeit erfordert (4–30 Sekunden mit Bogenlicht) als eine Dunkelfeldaufnahme in durchfallendem Licht.

**104. Die Auflichtgeräte für Dunkelfeldbeleuchtung der Firma C. ZEISS (die Epi-Lampen, Epi-Spiegel und Epi-Kondensoren)**<sup>1</sup>. Ende 1932 sind im Handel auch die Auflichtgeräte der Firma C. ZEISS für Dunkelfeldbeleuchtung erschienen. Bei ihrem Bau war, wie beim Ultropak, die Erfahrung von ausschlaggebender Bedeutung, daß die Mängel der mit einem Vertikalluminator im Hellfeld erhaltenen optischen Bilder am einfachsten und sichersten durch eine Beleuchtung mit Auflicht im Dunkelfeld zu vermeiden sind. Dadurch läßt sich nämlich die Überstrahlung des Bildes infolge von Spiegelungen an glänzenden Oberflächenschichten verhindern, und man kann unbedeckte wie auch mit Deckglas bedeckte Objekte gleichermaßen gut abbilden. Bei der vielseitigen Anwendung der Auflichtmikroskopie auf verschiedenen Forschungsgebieten und bei der Mannigfaltigkeit der zur Untersuchung gelangenden Objekte hat es sich als zweckmäßig erwiesen, keinen Universalapparat für alle in Betracht kommenden Fälle zu bauen, sondern mit drei der Beschaffenheit der Objekte angepaßten Arten von Geräten die gestellten optischen Aufgaben zu lösen. In Hinsicht auf die Auflichtmikroskopie lassen sich bekanntlich (S 219 u. 236) die Objekte in zwei große Gruppen ordnen: 1. in solche, welche eine ausgesprochene Oberflächenreliefstruktur aufweisen (z. B. Leder, Textilstoffe, Bakterienkulturen usw.), und 2. in solche, wo kein Oberflächenrelief vorhanden ist, oder wo die Struktur in der Hauptsache nach der Linienführung untersucht werden soll (z. B. glatte Schnittflächen und Anschliffe, pflanzliche oder tierische Körperoberflächen von glatter Beschaffenheit, aber auch Stoffe, Papier usw.). Für die erste Gruppe wird sich am besten eine einseitig schiefe Beleuchtung (eine Dunkelfeldbeleuchtung mit begrenztem Azimut) eignen, weil dadurch die Schattenbildung eine plastische Wirkung erzeugt, die dem Bild eine größere Objektähnlichkeit verleiht. Bei der zweiten Gruppe, wo eine ausgeprägte Oberflächenreliefstruktur fehlt, wird man dagegen von einer allseitig schiefen Beleuchtung größere Vorteile haben, weil bei dieser die für das Objekt charakteristischen Linien des Strukturbildes ohne Verzerrung durch einen Azimuteffekt und unbeeinflusst durch etwaige Schatten (bei Objekten von unebener Oberfläche) mit der gewünschten Deutlichkeit hervortreten.

Zur Dunkelfeldbeleuchtung mit begrenztem Azimut sind die Epi-Lampen bestimmt, und zwar je nach Bedarf mit einer einfacheren (Epi-Lampe 3) oder mit einer vollkommeneren Ausüstung (Epi-Lampe 8). In beiden Arten der Ausführung besteht die Einrichtung aus einem Nieder voltlampchen mit einstellbarer Kollektorlinse (Abb 140). Die Lampenfassung wird mit einem Tragstück am unteren Ende des Tubus so untergebracht, daß das Licht ganz schief fast streifend auf das Objekt fällt, um einen Dunkelfeldeffekt zu erzielen. Die Tragstücke sind schwenkbar gestaltet. Man kann also das für den einseitig schiefen Lichteinfall geeignete Azimut von Fall zu Fall aussuchen. Die Epi-Lampe 3 ist ein Zystoskoplampchen für 3 Volt Spannung, das den nötigen Strom am zweckmäßigsten

<sup>1</sup> Vgl. Druckschrift der Firma C. ZEISS Mikro 476 und F. HAUSER (5).

von einer Trockenbatterie erhält. Das ringförmige Tragstück wird vermittels eines dünnen Ansatzstückes zwischen Objektiv und Linsenwechsler (Revolver oder Schlittenwechsler) festgeklemmt. Da die Epi-Lampe 3 demzufolge bei jedem Objektivwechsel abgenommen und wieder aufgesetzt werden muß, eignet sich diese einfache Form hauptsächlich zu Untersuchungen, bei denen man ständig mit gleichbleibenden Linsenfolgen arbeitet (z. B. bei Politurprüfungen, Staubuntersuchungen usw.). Für die Mikrophotographie ist die zweite Form, die Epi-Lampe 8 (Abb. 140), schon aus dem Grund besser geeignet, weil man hier ein weit helleres Licht erhalten kann. Das Niedervoltlampchen ist hier für 8 Volt und 0,6 Amp. bestimmt und wird über einen Vorschaltwiderstand (bei Wechselstrom über einen Transformator) an die Lichtleitung angeschlossen. Das Lampchen ist in einen Zentriersockel eingesetzt und mit einer asphärischen Kollektorlinse so ausgerüstet, daß die Lampenfassung zur genaueren Fokussierung gegen den Kollektor verschiebbar ist. Außerdem läßt sich auch das ganze Lampengehäuse in dem kreisbogenförmigen Tragstück verschieben, wodurch der Einfallswinkel der schiefen Beleuchtung von etwa 22 bis zu 45° geändert werden kann.

Bei der Epi-Lampe 8 ist nun der Objektivwechsel rasch und glatt durchführbar, denn das ringförmige Tragstück wird hier zwischen dem Tubus und dem Objektivwechsler angeschraubt. Die Objektive oder die Objektivwechsler werden dann in ein Gewinde eingesetzt, das in die Innenseite des Tragringes eingeschnitten ist. Die lichtstarke Beleuchtung genügt auch für mittelstarke Vergrößerungen. So läßt sich die Epi-Lampe 8 zu mikrophotographischen Aufnahmen

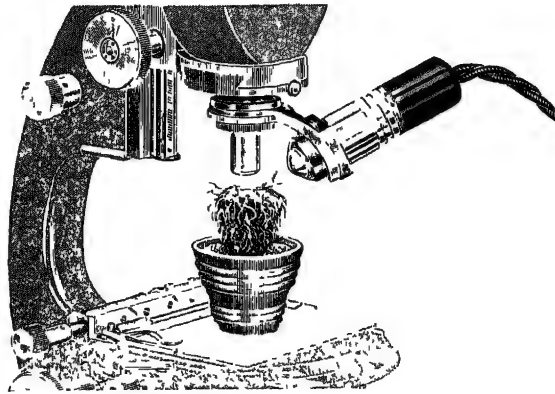


Abb. 140 Die Epi-Lampe 8 (Aus ZEISS-Druckschrift Mikro 476)

bei Untersuchungen an Stoffen, Kulturpräparaten, pulverförmigen Substanzen oder Kleinlebewesen (auch wenn diese in kleinen zylindrischen Glasgefäßen untergebracht sind) gut verwenden. Zwischen Lampchen und Kollektor läßt sich bei solchen Aufnahmen ein Filter (Mattglas, Farbenfilter oder Wärmeschutzglas) einschalten. Es ist ferner zu beachten, daß durch geeignete Wahl der Objektunterlage (s. S. 224) die Kontrastwirkung der Bilder wesentlich gefördert werden kann.

Zu den Epi-Lampen empfiehlt die Herstellerfirma die Objektive Achrom 6fach (Ap 0,17), 8fach (Ap 0,20), 10fach (Ap 0,30), Apochrom 10fach (Ap 0,30), ferner die neuen achromatischen Epi-Objektive 20fach (Ap 0,40) und 40fach (Ap 0,65). Die ersten vier Objektive sind die normalen Mikroskopobjektive der Firma C. ZEISS für bedeckte und unbedeckte Objekte, die neuen Epi-Objektive sind ausdrücklich für den Gebrauch mit den Epi-Lampen und dem Epi-Kondensor D zur Beobachtung unbedeckter Objekte bestimmt.

Die Dunkelfeldbeleuchtung mit allseitig schief auffallendem Licht wird mit dem Epi-Spiegel und den Epi-Kondensoren erzielt.

Über die Form, Aufstellung und Wirkungsweise des Epi-Spiegels geben die Abb. 141 u. 142 den nötigen Aufschluß. Es handelt sich also hier in der Hauptsache um denselben Grundsatz wie bei einem LIEBERKUHNSchen Spiegel, mit dem Unterschied, daß der Hohlspiegel nicht auf dem Objektiv, sondern auf dem Objektisch befestigt wird. Nach oben, dem Tubus zu, ist er weit geöffnet,



wenn die Beleuchtungsstrahlen genau auf die eingestellte Objekzebene konzentriert sind. Wie schon erwähnt, erreicht man dieses durch eine entsprechende Verstellung der Lampe. Zur subjektiven Beobachtung reicht die Lichtstärke der Niedervoltlampe vollkommen aus auch bei Untersuchungen mit starken Immersionslinsen. Für mikrophotographische Aufnahmen bei starken Vergrößerungen eignet sich jedoch die Beleuchtung mit einer Kohlenbogenlampe besser. Man setzt dann den Spiegel und den Kondensor in den Abbeschen Beleuchtungsapparat wieder ein und beleuchtet mit dem Leuchtfeldverfahren von A. KOHLER (1) in der üblichen Weise.

Untersuchungen mit starken Immersionslinsen wird man nur selten bei einer Beleuchtung durch den Epi-Spiegel vornehmen, weil der geringe Objektstand solcher Objektive hier, von besonders geeigneten Fällen abgesehen (z. B. glatten, geschliffenen oder polierten Flächen), Schwierigkeiten bereiten kann. Zu solchen Untersuchungen oder mikrophotographischen Aufnahmen eignen sich die Epi-Kondensoren besser, unter denen der Epi-Kondensor W (Abb. 144) die denkbar vielseitigste und handlichste Einrichtung für die Auflichtmikroskopie darstellt. Zunächst ist er sowohl für Dunkelheld- als auch für Hellfeldbeleuchtung geeignet, was in seiner Bezeichnung als Wechselkondensor (W) zum Ausdruck gelangt. Die Erzeugung der Dunkelheldbeleuchtung erfolgt nach dem gleichen Grundsatz wie beim Ultropak mit einer spiegelnden Fläche, welche die Strahlen auf den ringförmigen Kondensor lenkt, in dessen Mitte die Objektlinse eingefasst ist (Abb. 145).

Hier ist jedoch durch besondere Vorkehrungen die Möglichkeit geschaffen worden, abwechselnd Hell- oder Dunkelheld zu erzeugen. Die spiegelnde

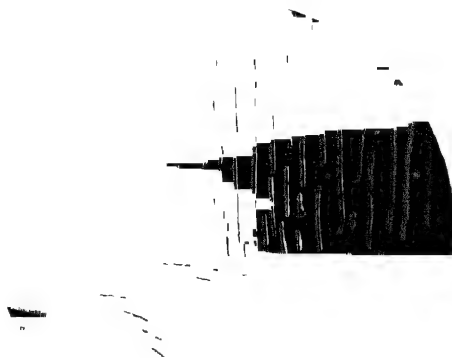


Abb. 143 Lamellares Perlit Vergr. 940fach (Aus F. HAUSER [2])

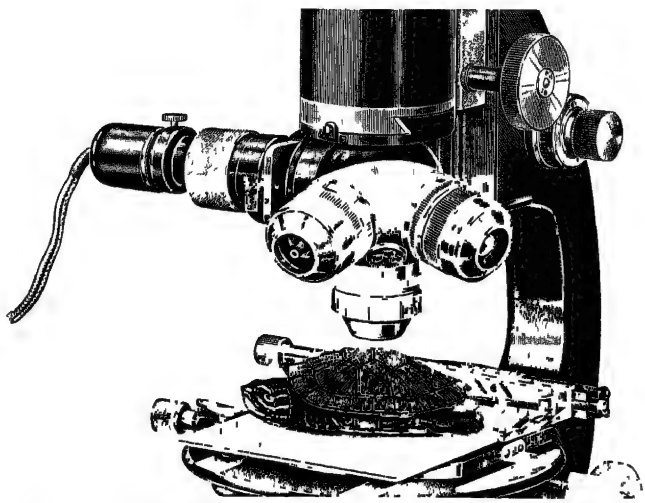


Abb. 144 Der Epi-Kondensor W (Aus ZEISS-Druckschrift Mikio 476)

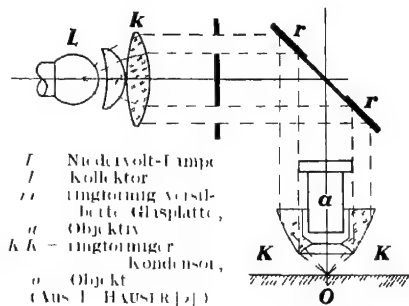


Abb. 145

Flache wird nämlich von einer unter  $45^\circ$  geneigten Glasplatte gebildet um deren durchsichtigen Mittelteil herum der Randstreifen versilbert ist und so einen Ringspiegel bildet. In das Ansatzrohr vor der Glasplatte lässt sich nun mit einem Schieber eine Zentralblende und ferner eine Sammellinse einsetzen. Wird die Zentralblende vorgeschoben, so blendet sie den durchsichtigen mittleren Teil ab, und nur die vom Ringspiegel nach unten gelenkten Strahlen gelangen zum Objekt. Dadurch erhält man das klare Dunkelfeld. Wird dagegen die Sammellinse vorgeschoben, so sammelt diese die Lichtstrahlen nach Art eines Kondensors auf den Mittelteil der Glasplatte, so daß der Ringspiegel keine Strahlen erhält, und das Objekt nur von Strahlen beleuchtet wird, welche wie bei einem Vertikalilluminator nach BECK von der Glasplatte durch das Objektiv zu ihm gelangen. Das so erzeugte Hellfeld hat also denselben optischen Charakter wie jenes von einem Vertikalilluminator, nur mit dem Unterschied, daß hier die Apertur- und die Leuchtfeldblende fehlen und deshalb keine Steigerung der Kontrastwirkung durch Regelung der Blendenöffnungen (s. S. 234) möglich ist. Das Hellfeld hat jedoch, wie F. HAUSER (5) es betont, nur einen behelfsmäßigen Charakter und dient bei Arbeiten mit dem Epi-Kondensor W hauptsächlich zum Aufsuchen geeigneter Stellen des Objekts, was bekanntlich im Hellfeld rascher und bequemer erfolgt als im Dunkelfeld. Wünscht man jedoch das Hellfeldbild optisch einwandfrei wie bei einem Vertikalilluminator abzubilden, so entfernt man die Beleuchtungseinrichtung des Epi-Kondensors und beleuchtet in derselben Weise wie bei den Vertikalilluminatoren mit den dafür geeigneten Nieder-, Punkt- oder Kohlenbogenlampen, d. h. mit einer lichtstarken Lampe durch einen Kollektor und eine vor dem Aufsatzrohr des Epi-Kondensors aufgestellte Aperturblende nach dem KOHLERSchen Prinzip.

Sonst wird das Licht auch hier von einer Niedervoltlampe von 8 Volt 0,6 Amp geliefert, welche mit einem Zentriersockel in das Ansatzrohr oder den Lampenstutzen eingesetzt wird. Die Lampe ist mit einem eingebauten Kollektor ausgerüstet (s. Abb. 145). Für die subjektive Beobachtung ist die Helligkeit des so gespendeten Lichtes vollkommen ausreichend, bei mikrophotographischen Aufnahmen mit stärkeren Objektiven ist es jedoch auch hier angezeigt, das Lampchen zu entfernen und mit einer auf der optischen Bank ausgerichteten Kohlenbogenlampe nach dem KOHLERSchen Prinzip (durch einen Kollektor und eine Aperturblende) zu beleuchten.

Der Epi-Kondensor ist in Verbindung mit allen normalen Mikroskopstativen verwendbar, als Objektivlinsen kommen jedoch nur Sonderobjektive in Betracht, welche mit den Ringkondensoren ausgerüstet, auf unendlich korrigiert sind und die abbildenden Strahlen im telezentrischen Strahlengang durch die Mitte der Glasplatte in den Tubus senden. Hier, oberhalb der Glasplatte, im Anpaßstück des Kondensorgehäuses fallen dann die Strahlen auf ein Fernrohrobjektiv, dessen Brennweite auf eine Tubuslänge von 160 mm abgeglichen ist. Diese „Sonderobjektive“ für den Epi-Kondensor W sind als Achromate oder als Fluoritsysteme mit verschiedener Einzelvergrößerung (von 5,3fach bis zu 50fach) und mit verschieden hoher num. Ap. (von num. Ap. 0,14 bis zu num. Ap. 1,0) erhältlich. Es gibt unter ihnen eine Wasserimmersionslinse 30fach, num. Ap. 0,55 und zwei Öl-Immersionslinsen 33fach (num. Ap. 0,85) und 50fach (num. Ap. 1,0).

Die Objektive werden mit ihren charakteristischen kurzen Fassungen in einen dreiteiligen Revolver eingesetzt (s. Abb. 144), und zwar vermittels ringförmiger Glasscheiben, welche in die Anschraubstutzen der Kondensoren gefaßt sind. Bei dieser besonderen Art der Anbringung erhält man eine vollkommen ununterbrochene allseitige Beleuchtung. Wird aber aus irgendeinem Grunde eine ein-

seitig schiefe Beleuchtung gewünscht, so läßt sich auch eine solche mit dem Epi-Kondensor erzielen (z. B. bei Untersuchungen an Objekten mit einer ausgeprägten Oberflächenreliefstruktur), denn man kann zwischen dem Blendschieber und dem Lampenkollektor auch noch eine Azimutblende einsetzen. Bei mikrophotographischen Aufnahmen (bei allseitiger Beleuchtung) können an Stelle der Azimutblende Farben- oder Wärmeschutzgläser angebracht werden.

Die Ausrüstung des Epi-Kondensors W mit dem Revolver ist selbstverständlich ein großer Vorteil, denn dadurch ist der Übergang von einer Objektvergrößerung zu einer anderen auch bei der Auflichtbeleuchtung so bequem und rasch durchführbar wie sonst bei der gewöhnlichen Beleuchtung in durchfallendem Licht. Ein weiterer Vorteil dieser optischen Einrichtung liegt noch darin, daß man mit ihr opake Objekte von beliebiger Größe (soweit sie unter-

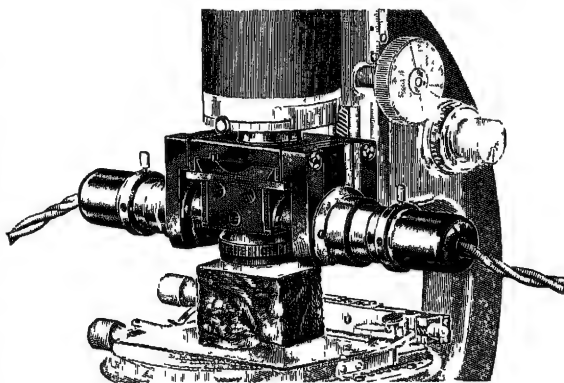


Abb. 146. Der Epi-Kondensor D  
(Aus ZEISS' Druckschnitt Mikroskop 476)

halb des Tubus auf dem Mikroskoptisch Platz haben) in Auflicht untersuchen kann. Man findet also im Epi-Kondensor W eine Universaleinrichtung, welche die Leistungsfähigkeit der Vertikalilluminatoren, Epi-Lampen und Epi-Spiegel in vervollkommener Form vereint. Dementsprechend ist natürlich sein Preis höher als bei den erwähnten Auflichtgeräten mit enger begrenzter Leistungsfähigkeit.

Vor allem wird der Kaufpreis der Einrichtung dadurch erhöht, daß man zum Epi-Kondensor W die Sonderobjektive anschaffen muß. Es war deshalb

wünschenswert, einen zweiten Epi-Kondensor zu bauen (Epi-Kondensor D), mit welchem man wenigstens die schwächeren normalen Objektive verwenden kann (Abb. 147). Diese haben jedoch einen ziemlich breiten Anschraubring, so daß dann dementsprechend die reflektierende Glasscheibe und folglich das ganze Kondensorgehäuse in einem

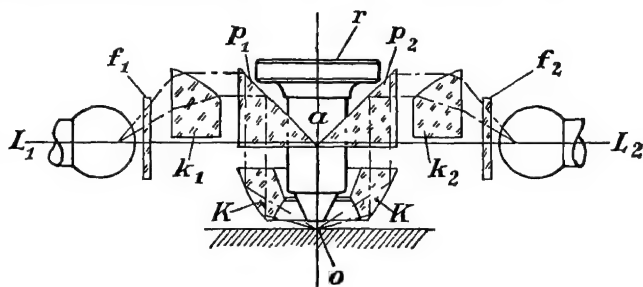


Abb. 147

$I_1, I_2$  = Niederdrucklampen,  $k_1, k_2$  = halbringförmige Kollektoren  
 $p_1, p_2$  = Prismen,  $K, K$  = ringförmiger Paraboloid-kondensor,  $a$  = Objektiv mit Fassung ( $r$ ),  $f_1, f_2$  = Aussparungen für Blenden, Filter usw.  
(Aus F. HAUSER [5])

großen Maßstab hatte ausgeführt werden müssen, was wiederum für die Anbringung des Gerätes auf dem Mikroskoptubus hinderlich gewesen wäre. Diese Schwierigkeiten wurden so behoben, daß man an Stelle der reflektierenden Glasplatte zwei Prismen mit versilberten Hypotenusenflächen aufstellte, wie das aus Abb. 147 ersichtlich ist. Man erhält so statt eines Ringspiegels zwei gegeneinander um  $45^\circ$  geneigte Halbringspiegel, zwischen denen in einem kreisförmigen Ausschnitt das Objektiv eingesetzt wird. Natürlich muß das Licht dann von zwei Seiten aus zwei Lampen auf die spiegelnden

Prismenflächen fallen. Zwischen den Lichtquellen und den Prismen befinden sich die halbkreisförmigen Kollektoren, welche das einfallende Licht zu einem Lichtstrom aus nahezu parallelen Strahlen von halbkreisförmigem Querschnitt gestalten. Von den spiegelnden Prismenflächen wird dann dieses Licht in Form eines Strahlenzylinders auf einen ringförmigen Paraboloidkondensor gelenkt, der die Strahlenbündel schließlich auf das Objekt konzentriert. Prismen und Kondensor mit den dazugehörigen Kollektoren sind in ein nahezu würfelförmiges Metallgehäuse eingefast, welches beiderseits die Lampenstützen trägt. Diese letzteren sind genau so ausgerüstet wie der Lampenstützen des Epi-Kondensors W (Abb 144).

Die Objektive werden mit einem Paßring ausgerüstet und so in das Metallgehäuse, d. h. in den kreisförmigen Ausschnitt zwischen den Prismen und dem Paraboloidkondensor eingehängt. Das Prismengehäuse hat seinerseits einen



Abb 148 Anschliff an verkieseltem Holz  
Vergr. 200fach (Aus F. HAUSER [a])

Schwalbenschwanz, der in die Föhrung der am Mikroskoptubus befestigten Tragplatte eingesetzt wird. Für schwache Vergrößerungen kann man so die normalen ZEISS-Objektive bis zu 10facher Einzelvergrößerung benutzen, zu stärkeren Vergrößerungen muß man jedoch die schon bei den Epi-Lampen erwähnten Epi-Objektive 20fach und 40fach verwenden. Diese letzteren sind allerdings nur für unbedeckte Objekte bestimmt. Mit dem Epi-Kondensor D wird man aber in der Hauptsache nur unbedeckte Objekte untersuchen, namentlich solche mit einer ebenen Oberfläche (z. B. Anschliffe, Papiere, Stoffe usw.). Da bei seiner eigenartigen Bauart der Epi-Kondensor D ziemlich flach und breit auf dem Objekt auf-

sitzt, ist seine Verwendung auf Objekte beschränkt, an denen man während der Beobachtung nicht zu hantieren braucht. Daß der Objektivwechsel umständlicher ist als beim Epi-Kondensor W, ist aus der geschilderten Bauart leicht zu verstehen. Ein wesentlicher Unterschied zwischen den Epi-Kondensoren D und W ist ferner, daß der Epi-Kondensor D nur für die Dunkelfeldbeleuchtung bestimmt ist. Seine Leistungsfähigkeit ist also in jeder Hinsicht im Vergleich zum Epi-Kondensor W und gewissermaßen auch im Vergleich zum Epi-Spiegel beschränkt. Sein Vorteil besteht darin, daß man mit ihm für Untersuchungen auf einem bestimmten und geeigneten Arbeitsgebiet (z. B. bei metallographischen, geologischen oder mineralogischen Untersuchungen an Anschliffen, bei Materialprüfungen in der Papier- oder Textilindustrie usw.) ein handliches und preiswertes optisches Gerät erhält, welches sehr klare Dunkelfeldbilder liefert (vgl. Abb 148).

**105. Kammgerüst und Plattenmaterial.** Zu Aufnahmen mit allseitiger schiefer oder steiler Beleuchtung (LIEBERKUHN'Schem Spiegel, Vertikalilluminator, Aufsichtskondensor usw.) kann man im Hellfeld und Dunkelfeld alle bekannten Formen der mikrophotographischen Einrichtung benutzen: die kleinen Kammern ebenso gut wie die großen. Bei diesen letzteren wird die Beleuchtung des Vertikalilluminators eine besondere Aufstellung erfordern, falls man die Aufnahmen mit einer waagerechten Anordnung vornimmt. Es lassen sich auch bei einer solchen

Anordnung Aufnahmen mit dem Vertikalilluminator erzielen, das Verfahren kommt jedoch heute kaum mehr in Betracht, da man in einfacher und bequemer Weise mit der senkrechten Anordnung besser zum Ziel kommt. Wo nur eine große Horizontalkamera zur Verfügung steht, muß man natürlich das Kammergestell senkrecht zur Längsachse des Tischgestells richten (Abb 61), um den Vertikalilluminator bei einem waagerechten Mikroskop beleuchten zu können. Bei aufrecht stehendem Mikroskop benutzt man, wie üblich, das Umkehrprisma oder den Spiegel. Daß man bei Aufnahmen mit dem Vertikalilluminator das aufrecht stehende Stativ auf einem dazu passenden Fußgestell (Universalfußgestell, s S 153) mit seiner Symmetrieebene senkrecht zum Beleuchtungskegel so aufstellen muß, daß die Beleuchtungsstrahlen in die seitliche Öffnung des Vertikalilluminators einfallen, versteht sich von selbst. Bei der Entscheidung, ob man kleinere Apparate mit kürzeren Auszügen oder größere mit längeren Auszügen wählen soll, sei beachtet, daß die Helligkeit der Bilder in auffallendem Licht wesentlich geringer ist als in durchfallendem Licht. Bei den schwachen Vergrößerungen, mit denen man bei einseitig schiefer Beleuchtung zu arbeiten pflegt, kommt man mit der Helligkeit der Beleuchtung bei längeren, jedoch nicht allzu langen Kameraauszügen noch gut aus. Bei stärkeren Vergrößerungen, wie man sie mit dem Vertikalilluminator zu erzeugen pflegt, empfiehlt es sich jedoch, womöglich kurze Kameraauszüge zu wählen, selbst dort, wo sehr lichtstarke Lampen zur Verfügung stehen. Abgesehen davon, daß die mäßige Helligkeit des Sehtfelds die Belichtungszeit erheblich verlängern wird, vermeidet man längere Kameraauszüge, d h eine stärkere Bildvergrößerung, in diesen Fällen schon deshalb, weil die dem Bild anhaftenden optischen Fehler, die vom Nebenlicht verursachte Unschärfe des Bildes oder die schwache Kontrastwirkung, weit auffälliger in Erscheinung treten als im subjektiv beobachteten virtuellen Bild. Sehr gut bewahren sich deshalb für die Arbeiten mit dem Vertikalilluminator die kleinen Vertikalkammern und die Aufsatzkammern.

Als Plattenmaterial wählt man lichterhohe, orthochromatische Platten mit hohen Scheinernahlen (Momentplatten), damit man nicht lange zu belichten braucht. Lichtfilter sind überall vorteilhaft, wo die Oberfläche ein farbiges Zeichenmuster zeigt, vor allem, wenn die Kontraste im Bild allein von den farbigen Unterschieden bedingt sind, wie z B bei Objekten mit glatten Oberflächen. Bei kapillarmikroskopischen Aufnahmen erhält man besonders scharfe und kontrastreiche Bilder mit einem Grünfilter. Die Belichtungszeit muß stets durch Belichtungsreihen festgestellt werden, will man nicht umsonst Zeit und Plattenmaterial opfern. Das subjektive Empfinden tauscht gerade bei der Beleuchtung in auffallendem viel häufiger als im durchfallenden Licht.

Über Polarisationsmikroskopie in auffallendem Licht s S 289, Ultraviolett-mikrophotographie in auffallendem Licht s S 304 und Lumineszenzmikroskopie in auffallendem Licht s S 311.

#### IV. Die Mikrophotographie in der Metallographie und Faserstoffforschung.

(Vgl. zusammenfassende Darstellungen bei MONYPENNY [7], RAPATZ und MEYER [7], HERZOG [7].)

Eine besondere Bedeutung hat die Mikroskopie und Mikrophotographie in auffallendem Licht in der Metallographie erlangt, wo sie seit Anfang des Jahrhunderts Verwendung findet als Prüf- und als Forschungsmethode beim Nachweis bestimmter Gefügearten, Einschlüsse, Seigerungen, Verformungen, Kristallisationen und sonstiger Umwandlungen, ferner bei der Feststellung der Reak-



tionsformen auf die Atzmittel (vgl. HEYN und BAUER [1], PREUSS [1], SCHNEIDER-HOHN [1])

Von dem Grobgefüge der Rohmetalle und ihrer Legierungen pflegt man mit den Verfahren der Makrophotographie Bilder zu erzeugen und bedient sich dabei

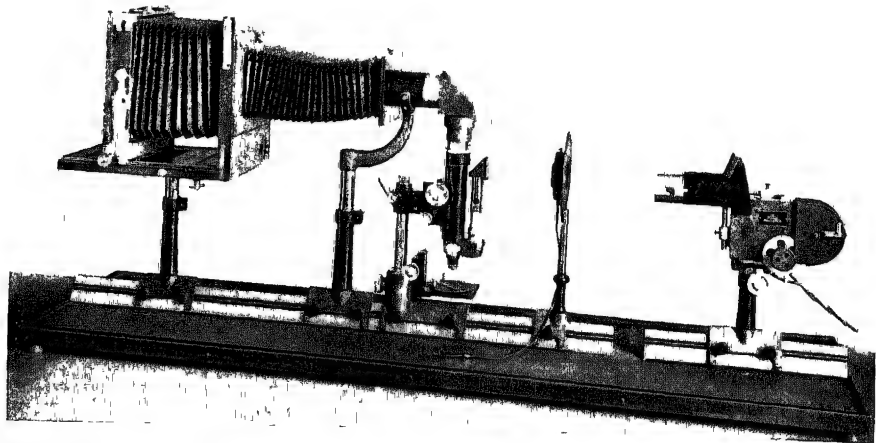


Abb 149 Große mikrophotographische Einrichtung der Firma R. Fuess in Verbindung mit Werkstoffmikroskop

einer Kamera mit photographischen Objektiven von 120—210 mm Brennweite. Vorteilhafter ist natürlich, wenn ein mikrophotographischer Apparat zur Ver-

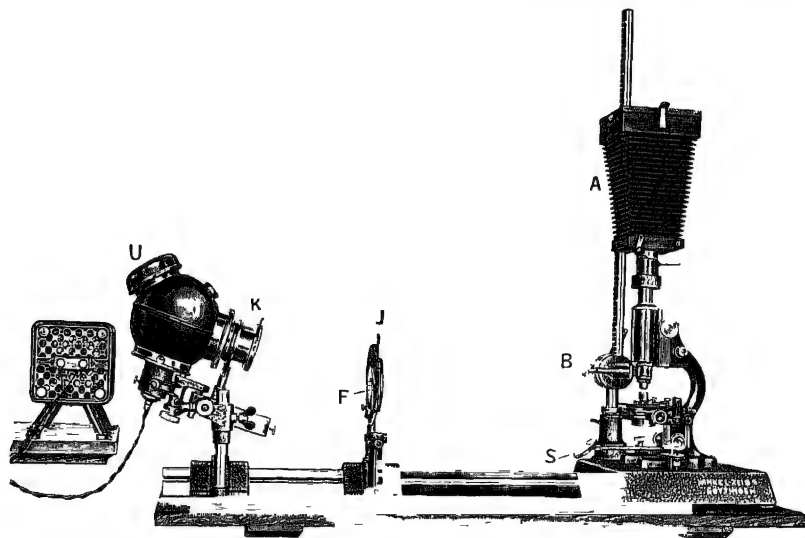


Abb 150 Mikrophotographische Einrichtung der Firma R. Winkler für auffallendes Licht  
A = Kamera, B = Spiegel zur Lenkung der Lichtstrahlen in den Vordereingang des Mikroskops, J = Linse, K = Kollektor, U = Punktlichtlampe (Aus: Winkler, Mikrophotographie, Nr. 230)

tung steht, mit dessen Kamera allein — ohne Mikroskop — die schwach vergrößerten oder verkleinerten Aufnahmen, in Verbindung mit dem Mikroskop aber Bilder in der gewünschten schwächeren oder stärkeren mikroskopischen Vergrößerung erzeugt werden, und zwar sowohl in gewöhnlichem auffallendem

als auch in polarisiertem Licht (vgl. SACHS [1]), in ultraviolett (FR F LUCAS [1], s. S. 304) und in Lumineszenzlicht (vgl. DANCKWORT [1]).

**106. Die kleinen metallographischen Einrichtungen.** Die Form und der Aufbau solcher den metallographischen Zwecken angepaßten mikrophotographischen Apparate ist verständlicherweise von der Größe und der Form der Objekte bedingt. Handelt es sich um kleine Stücke, die auf dem Tisch des normalen Mikroskops gut unterzubringen sind, so wird man auch die speziellen metallographischen Untersuchungen mit denselben Einrichtungen durchführen und

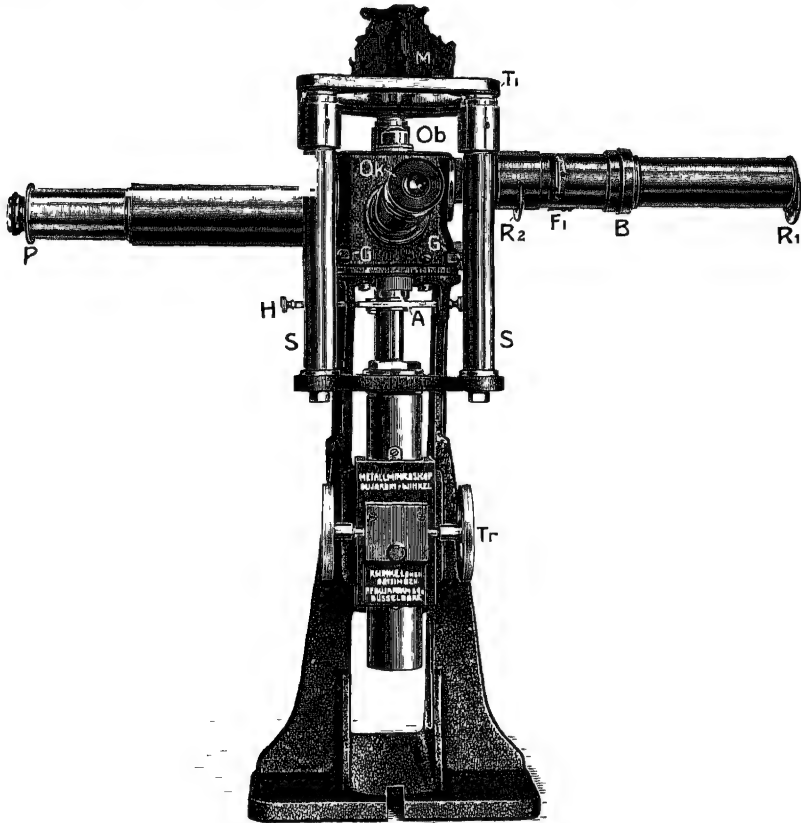


Abb. 151. Großes Metallmikroskop nach L. CHATELIER der Firma R. WINKEL.

$T_1$  = Objektisch,  $T_2$  = Einbruch,  $G$  = Rollen,  $SS$  = Stützen des Objektisches,  $Ob$  = Objektiv,  $M$  = Präparat,  $R_1$  = Aperturblende,  $B$  = Beleuchtungslinse,  $L_1$  = Schutz vor Filter usw.,  $R$  = Gesichtsfeldblende,  $P$  = Photographisches Okular. (Aus WINKEL Druckschrift Nr. 235.)

photographisch festhalten können, die im vorangehenden Abschnitt für biologische Objekte angegeben wurden. In Werkstätten, Prüfungsämtern und Forschungslaboratorien der Metallindustrie benötigt man jedoch vielfach auch Mikroskope, mit denen man größere Stücke des Rohmaterials oder die fertige Ware in ihrer speziellen Form untersuchen und im Auflicht photographieren kann. Solche Metallmikroskope oder Werkstoffmikroskope unterscheiden sich von einem normalen mit Vertikalilluminator ausgerüsteten Stativ grundsätzlich nur dadurch, daß das Mikroskopstativ mit einer eigenen Lichtquelle (Niedervoltlampe) ausgerüstet ist und der Mikroskoptisch zum Halten des Objekts

entsprechend geformt ist als Plantisch oder als Kugelkalotte (Abb 149) Es gibt auch Falle, wo nicht das Objekt auf den Mikroskoptisch, sondern umgekehrt

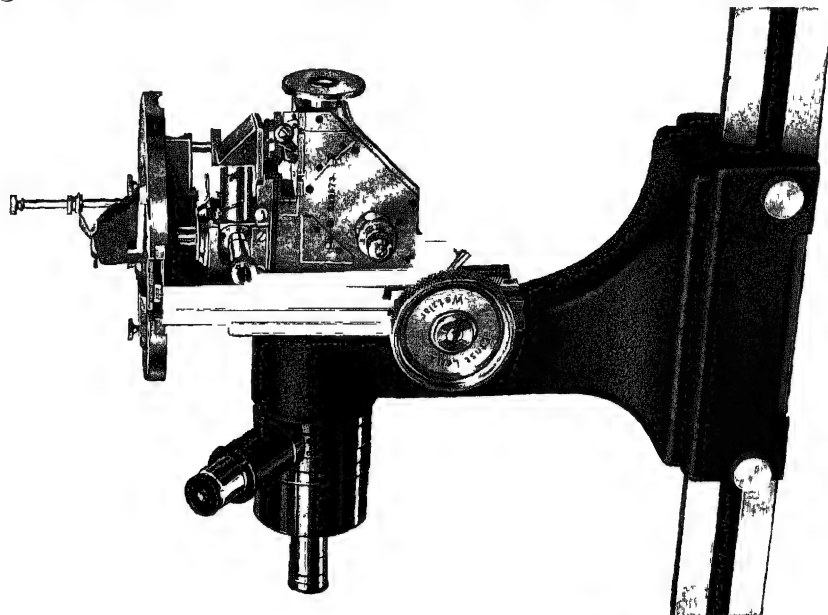


Abb 153 Großes Metallmikroskop der Firma E. LEITZ  
(Aus LEITZ-Druckschrift Metallo 61 B I)

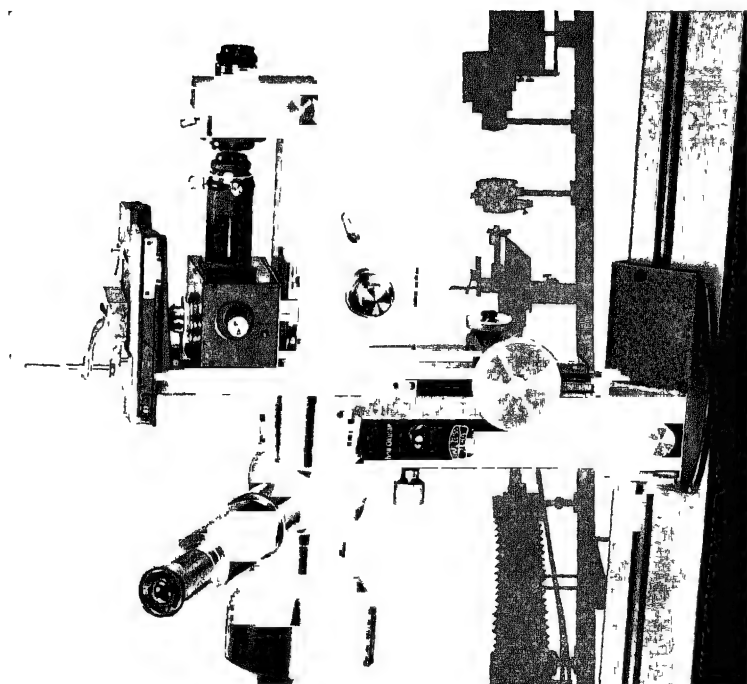


Abb 172 Großes Metallmikroskop der Firma ZEISS  
(Aus ZEISS-Druckschrift Mikro 460)

dieser auf das Objekt — z. B. ein Werkstück auf der Drehbank oder Schleifmaschine — aufgesetzt wird. Verbindet man das Okular des Werkstattmikroskops

mit einer Aufsatzkammer oder einer großen Horizontalkammer<sup>1</sup>, so erhält man das mikrophotographische Bild. Die Leistungsfähigkeit der Werkstoffmikroskope ist jedoch auf schwache Vergrößerungen beschränkt. Zu Forschungszwecken eignen sich daher besser die Metallmikroskope, wie sie z. B. die Firma R. WINKEL, Göttingen, anfertigt, weil man hier die Vergrößerung in geeigneter Weise bis zur Grenzerdermikroskopischen Sichtbarkeit steigern kann. Die Metallmikroskope können sowohl in auffallendem als auch in durchfallendem Licht benutzt werden und sind auch zu polarisationsmikroskopischen Untersuchungen im Auflicht geeignet. Für mikrophotographische Aufnahmen gibt es eigens dazu gebaute Einrichtungen (Abb. 150), man kann aber auch jeden anderen mikrophotographischen Apparat in Verbindung mit diesen Mikroskopen verwenden.

Ein Nachteil solcher und ähnlicher Metallmikroskope, die in ihrem Bau der normalen Form recht nahe stehen, bleibt immerhin der Umstand, daß man in vielen Fällen das Objekt am Mikroskoptisch nicht standfest unterbringen kann, namentlich wenn man mit größeren und sperrigen Stücken zu tun hat. In der Mehrzahl der Fälle untersucht und photographiert man geschliffene Flächen. Um diese genau

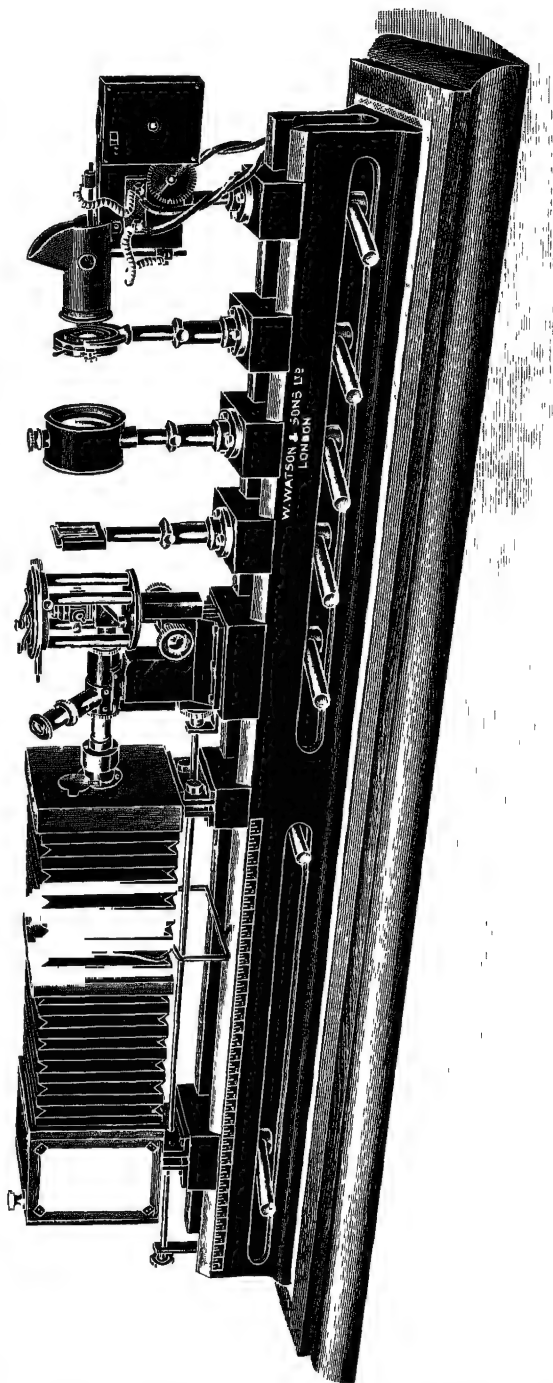


Abb. 154 Watsons großer „Metallograph“ (Aus Druckschrift der Firma Watson & Sons, Ltd., „Supplement A to Catalogue 4“)

<sup>1</sup> In diesem Fall muß das Niedervoltlampchen aus der Schiebluse entfernt werden und die Beleuchtung mit einer Kohlenbogenlampe und Umkehrprisma (s. Abb. 149) erfolgen.

senkrecht in der optischen Achse des Mikroskops aufzustellen, muß man auch die dem Mikroskoptisch aufliegende Fläche schleifen, und zwar plan parallel mit der zu beobachtenden Oberfläche, was begreiflicherweise die Unter-



Abb 155 Streinger Perlit (Grundmasse) mit Zementit (biehtes Netz)  
Vergr 500fach. (Originalaufnahme von H. HANEMANN. Aus H. HANEMANN und A. SCHRADER [2, Taf. 75, Abb. 535])

suchungen erschwert und verzögert. Dort also wo fortlaufende Untersuchungen an einem mannigfaltigen Material ausgeführt werden, müssen wie das in den Prüfraumen größerer Fabriken, in metallographischen Forschungslaboratorien oder in Materialprüfungsstellen der Fall ist, verwendet man die großen Metallmikroskope, bei denen beliebig große Stücke mit der geschliffenen Oberfläche dem Objektisch aufliegend standfest untergebracht werden können.

**107. Die großen metallographischen Einrichtungen.** Die großen Metallmikroskope (Abb 152, 153 und 154), welche alle nach dem Prinzip des Metallmikroskops

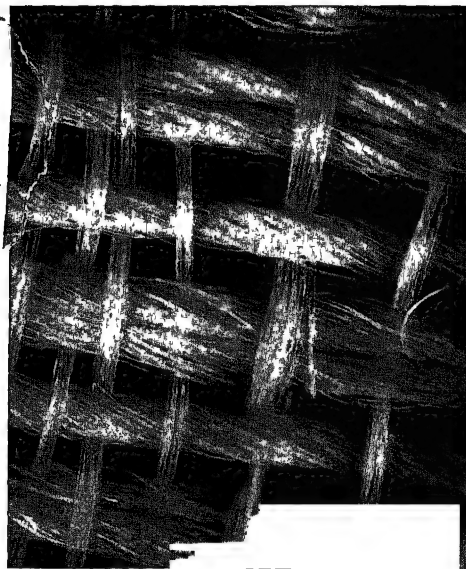


Abb 156 Mischgewebe aus Bromelia (Ananasiast.)  
Seide und Baumwolle Vergr 35fach. Aurlicht Kondensor  
(Aus A. HERZOG [2, Abb. 12])

von LE CHATELIER (Abb 151) gebaut sind, weichen in ihrer Form von der normalen Form wesentlich ab, sie sind nämlich gestürzte Mikroskope, bei denen der Objektisch am oberen Ende des Tubus aufgestellt ist und die Anordnung der abbildenden Linsensysteme vollkommen umgekehrt ist (Objektiv oben, Okular unten). Man beobachtet also das Objekt durch den Ausschnitt des Objektisches mit einem Fernrohrökular, das, seitlich und schief nach oben gestellt, durch eine Prismenkonstruktion in den Strahlengang eingeschaltet ist. Senkrecht zur optischen Achse des Tubus (etwa wie die waagerechten Arme eines Kreuzes) findet man, der Lichtquelle zugewandt, den Tubusaufsatz des mit einem auswechselbaren Prisma und Planglas versehenen Vertikalilluminators, in entgegengesetzter Richtung aber den Tubus für Photographie, an welchem die große Horizontal-

kammer angeschlossen wird (Abb 154). Die Einzelheiten in der Handhabung der Apparate von verschiedener Form sind am besten aus den Schriften der Herstellungsfürmen (ZEISS, LEITZ, DUJARDIN, WINKEL, WATSON) zu entnehmen. Hier sei es bemerkt, daß man zwar grundsätzlich auch die optische Ausrüstung

der normalen Mikroskope verwenden kann, vorteilhafter jedoch die Linsen verwenden wird, die, auf die veränderte Tubuslänge, bei Trockensystemen für Objekte ohne Deckglas, korrigiert in passenden kurzen Fassungen zu den großen Metallmikroskopen geliefert werden. Mit den Kombinationen von Objektiven und Okularen lassen sich mikroskopische Vergrößerungen von 30fach bis etwa 1600fach erzielen (Abb 155). Zu Aufnahmen bei ganz schwachen Vergrößerungen (mit Mikrioplanaren) hat ZEISS auch ein Sonderstativ gebaut.

Auch in der Faserstoffindustrie bietet die Mikroskopie und die Mikrophotographie zur Untersuchung von Textil- und Papierfasern in durchfallendem und in auffallendem Licht wesentliche Vorteile. Hier ist die Ausübung und Verwertung des mikrophotographischen Verfahrens dadurch bedeutend erleichtert, daß man keine besonderen Einrichtungen wie in der Metallographie benötigt, sondern mit dem normalen Mikroskop und seinen Nebenapparaten die gestellten Aufgaben lösen kann. Sollen die Faserstoffprodukte in durchfallendem Licht untersucht werden, so behandelt man sie wie sonstige mikroskopische Präparate. Zu der Mikrophotographie in auffallendem Licht verwendet man, wie A. HERZOG (1), es beschrieben hat den LIEBERKUHNSCHEN Spiegel, den Vertikalilluminator, den Schiaglichtilluminator oder den Dunkelfeld-Auflichtkondensor (s S 238) in der schon bekannten Weise (Abb 156).

## V. Die Stereo-Mikrophotographie.

(Vgl. dieses Handbuch Bd VI, 1 Teil, S 1 bis 100.)

(Zusammenfassende Darstellungen bei A. KOHLER [9], LAUBENHEIMER [1], SCHEFFER [2], SCHMEHLIK [2].)

**108. Das stereoskopische Bild** (vgl. auch dieses Handbuch, Bd VI 1). Das binokulare Sehen und der damit verbundene stereoskopische Effekt bietet auch in der Mikroskopie viele und wesentliche Vorteile. Hat man nicht gerade Untersuchungen von sehr dünnen Schnittpräparaten vor, wo nur einzelne optische Querschnitte des Objekts den Forscher interessieren, sondern will man von den körperlichen und räumlichen Verhältnissen ein räumliches mikroskopisches Bild erhalten, so wird man binokulare Mikroskope benutzen und mit diesen stereomikroskopische Bilder erzeugen (s. v. ROHR [1], LIHOTZKY [1]). Zwei grundsätzlich verschiedene Untersuchungsmethoden stehen dabei zur Verfügung. Entweder betrachtet man mit zwei Augenlinsen zwei Zwischenbilder, das von einem Objektiv geliefert wird (monoobjektiv-binokulares Mikroskop) (Abb 157), oder aber man erhält von zwei Objektiven zwei Zwischenbilder, die jedes durch ein Okular betrachtet erst in der Sehphase des Beobachters zu einem stereoskopischen Bild vereinigt werden (biobjektiv-binokulares Mikroskop). Es braucht hier nicht weiter erklärt zu werden, daß nur bei der letzterwähnten Art in derselben Weise stereoskopische Bilder entstehen, wie man sie mit freiem Auge zu sehen pflegt. Bei der anderen Art der Abbildung mit einem Objektiv und zwei Okularen muß man, abweichend von dem gewöhnlichen Sehvorgange, durch besondere Okularblenden ein linkes und ein rechtes Teilbild erzielen, die dann, von den Augen aufgefangen in der Sehphase vereinigt werden. Die damit erzeugte Wirkung bietet jedenfalls in doppelter Hinsicht Vorteile für die mikroskopische Beobachtung. Zunächst ist das Betrachten des mikroskopischen Bildes mit zwei Augen durch das ABBESCHE stereoskopische Okular, durch einen binokularen Tubusaufsatz (Bitumi) oder noch besser Bitukuni der Firma ZEISS oder durch binokulare Tubusaufsätze der Firmen LEITZ und REICHERT) bequemer und weniger ermüdend als die monokulare Beobachtung, dann aber erhält man mit den zu den binokularen Tubusaufsätzen gehörenden

Aufsatzblenden (welche links die rechte, rechts die linke Hälfte des RAMSDEN-schen Kreises abdecken) einen stereoskopischen Effekt, bei dem man eine ausgezeichnete Tiefenwirkung erhält und die Strukturelemente viel plastischer wahrnimmt als sonst mit einem Okular (s. LIHOTZKY [1], SCHEFFER [5])

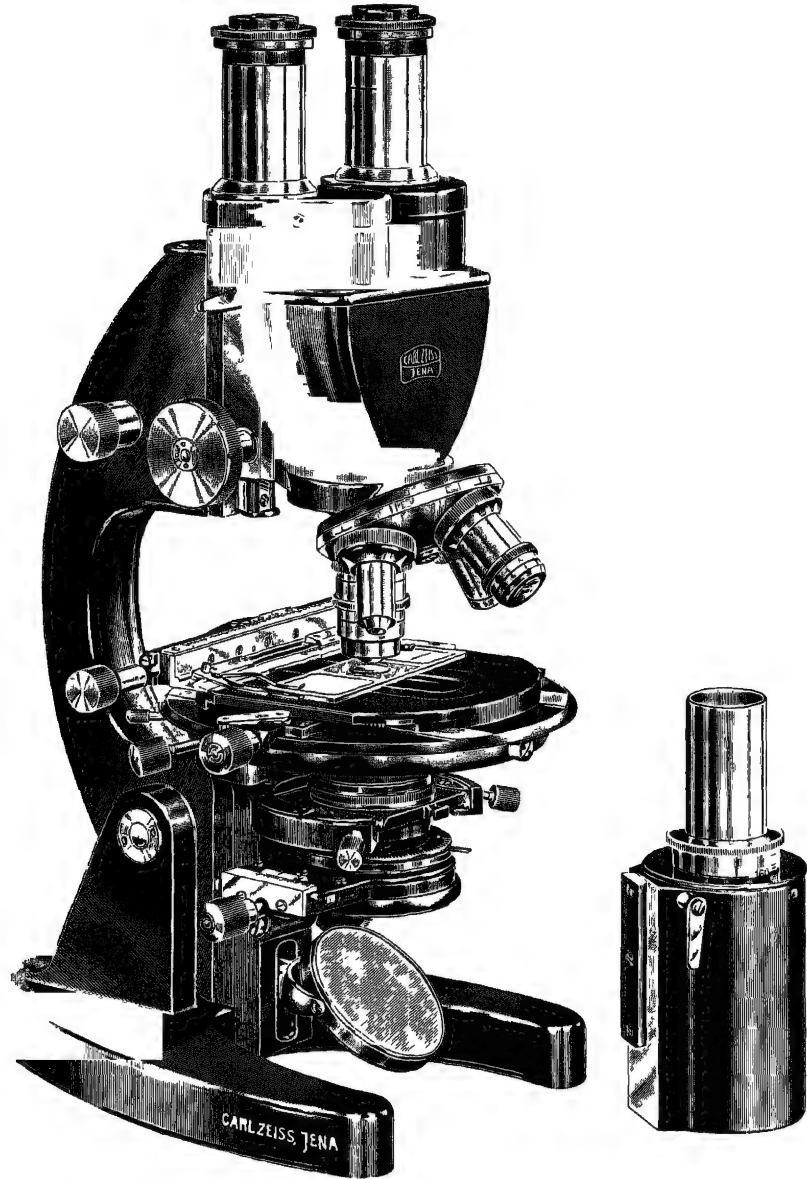


Abb 157 Monoobjektiv-binokulares Stativ D der Firma C. ZEISS (Aus ZEISS Druckschrift Mikro 404)

Selbstverständlich wird es vergeblich sein, von dem mehr oder minder stark vergrößernden binokularen Mikroskop eine raumtreue Wiedergabe derart zu erwarten, daß man richtige Tiefenmessungen (etwa zur Schichtdicke eines Präparats oder zur Höhenlage bestimmter Gefügeteile innerhalb eines Schnittes)

im Dingraum erhalten konnte. Vielmehr wird man sich mit der Tiefenrichtigkeit des zutreffend angelegten binokularen Mikroskops begnügen müssen: man nimmt eben wahr, was im Schnitte hoher und was tiefer liegt. Bei der gewöhnlichen mikroskopischen Beobachtung liefert die beschränkte Abbildungstiefe für die räumliche Anordnung sicherlich Anzeichen, die man bei subjektiver Beobachtung durch die Bewegung der Feinschraube aufs Beste verwerten kann, doch kommt Verschiebung des Objektivs bei der Mikrophotographie nicht in Betracht, hier wird die Deutung der Zerstreuungskreise nur auf Grund der Tiefenvorstellung erfolgen, die nur die Sicherheit der Tiefenwahrnehmung im richtig benutzten binokularen Mikroskop erreicht, wo beide Augen verschiedene Halbbilder erhalten und sie ganz wie verschiedene Perspektiven verschmelzen. Wo man die in jedes der beiden Augen gelangenden, abbildenden Bündel beschränkt, ob im Dingraum (wie bei den Mikroskopen mit zwei gesonderten Objektiven) oder im Augenraum (wie im ABBESchen Okular), ist für die Tatsache der Tiefenwahrnehmung ganz gleichgültig.

Natürlich versteht es sich von selbst, daß die nach H. GREENOUGH benannten schwach vergrößernden Präpariermikroskope mit ihren auch dem bloßen Auge deutlich räumlich gegliederten Objekten eine lebhaftere Tiefenwahrnehmung vermitteln als die stärker oder stark vergrößernden Mikroskope mit stereoskopischen Okularen von den flachen, fast tiefenlosen Gebilden in einem dünnen mikroskopischen Schnitt.

**109. Die binokularen Präpariermikroskope nach GREENOUGH (Abb 158).** Über die Linsen dieser Mikroskope genügt hier festzustellen, daß sie mit Objektivpaaren ausgerüstet sind, die aus sphärisch und achromatisch korrigierten Linsen von langen Brennweiten zusammengesetzt sind. Die Fassung der Linsenpaare ist mit einer Zentrier Vorrichtung und mit

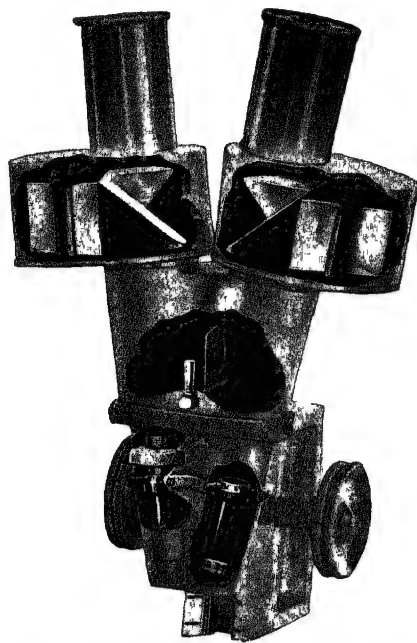


Abb 158. Durchschnitt eines binokularen Präpariermikroskops nach GREENOUGH (Aus dem Katalog 1929 der SPENCER Lens Comp.)

Tabelle 23. Vergrößerung, freier Objekt- und objektives Sehtfeld (Aus der ZEISS-Druckschrift Mikio 375, 1925)

Objektivpaar	(2)	(3)	(4)	(6)	(7)	(P)	(8)	(12)
Freier Objekt- abstand in mm	75	56	45	32	35		24	17
Okularpaar	Vergr	Seht- feld	Vergr	Seht- feld	Vergr	Seht- feld	Vergr	Seht- feld
HUYGENS 4x	8	12,1	12	8,2	16	6,1	24	4,0
HUYGENS 5x	10	11,6	15	7,8	20	5,8	30	3,9
HUYGENS 7x	14	9,6	21	6,4	28	4,8	42	3,2
HUYGENS 10x	20	6,9	30	4,7	40	3,5	60	2,3
HUYGENS 15x	30	4,3	45	2,8	60	2,1	90	1,4
Orthosk 12,5x	25	9,5	37,5	6,4	50	4,7	75	3,1
Orthosk 17x	34	7,0	51	4,7	68	3,5	102	2,3
Orthosk 28x	56	3,3	84	2,2	112	1,6	168	1,1



einem Schlitten ausgerüstet, der in die entsprechende Schlittenführung am Doppeltubus eingeschoben wird. Die Linsen sind auf ihren Schlitten genau zueinander zentrierbar, jede Hälfte des Doppeltubus enthält ein bildaufrichtendes PORROSCHE'S Prisma, wodurch man im Präpariermikroskop ein aufrecht stehendes Bild erzeugt. An den Enden des Doppeltubus werden die HUYGENSSchen oder die orthoskopischen Okularpaare eingesetzt. Über die Einzelvergrößerung der Objektiv- und Okularpaare wie auch über die mit ihnen erreichbaren mikroskopischen Vergrößerungen enthält Tabelle 23 die nötigen Angaben.

Der stereoskopische Effekt hängt wesentlich von dem Konvergenzwinkel ab, unter welchem die Strahlen von rechts und links in die Augen einfallen. Um diesen individuell verschiedenen Konvergenzwinkel richtig herzustellen, sind die beiden Rohre des Doppeltubus auf dem Stativ drehbar angebracht, so daß man durch Drehen der Trommeln, welche die PORROSCHE'Schen Prismen enthalten, die Okulare und die Prismen in die Sehachse des Beobachters einstellen kann. Der Spielraum bei der Drehung der Rohre um ihre Achsen ist je nach der Stärke der Okularpaare verschieden (zwischen 49 und 78 mm). Durch Drehen der Rohre, d. h. durch Einstellen der Okulare in die Sehachse, ist natürlich der stereoskopische Effekt noch nicht vollständig erreicht, falls nicht auch die Linsen der Objektivpaare genau in diese Achse eingestellt sind. Man muß also mit den Schrauben der Zentriervorrichtung die Objektivpaare so lange zueinander regulieren, bis das Auge rechts und links genau denselben Sehfeldinhalt sieht. Am besten eignet sich zur Zentrierung der Objektivpaare als Testobjekt der Objektmikrometer, an dem man mit einem Blick bald in das linke, bald in das rechte Rohr leicht feststellen kann, ob beide Gesichtsfelder denselben Inhalt an Teilungsstrichen zeigen.

**110. Die DRÜNERSche Kamera.** Die so erhaltenen Bilder, welche durch ein verhältnismäßig großes Sehfeld und eine große Tiefenwirkung ausgezeichnet sind, lassen sich ohne besondere Schwierigkeiten photographisch abbilden, wenn man statt des Doppeltubus eine Stereokamera nach DRÜNER (7)<sup>1</sup> auf dem Stativ anbringt und diese mit den Objektivpaaren ausrüstet (Abb. 159). Das Objektivbrett der DRÜNERSchen Kamera ist dafür mit einer Schlittenführung und die hintere Wand mit einer Zahnleiste ausgerüstet, welche letztere in den Trieb der Grobbewegung hineinpaßt. Der Oberteil der Kamera ist dachförmig gestaltet, und zwar so, daß seine beiden Hälften, d. h. die linke und die rechte Einstellebene, senkrecht zur optischen Achse der Objektivlinse (der betreffenden Seite) stehen und einen dem Konvergenzwinkel der Blickrichtung ( $14^{\circ}$ ) koordinierten Winkel einschließen. Auf diese dachartig gestaltete Einstellebene wird nun die entsprechend geformte Zwillingskassette oder der Rahmen mit Mattscheiben und Spiegelglasscheiben aufgelegt. Die Belichtung erfolgt durch Öffnen eines Zeit- und Momentverschlusses, der oberhalb der Schlittenführung des Objektivpaares untergebracht ist, so daß beim Öffnen des Verschlusses mit einem Drahtauslöser gleichzeitig beide Teilbilder der stereoskopischen Aufnahme belichtet werden.

Man wird mit dieser Einrichtung sehr häufig lebende Objekte photographieren, z. B. Planktonorganismen oder Protisten, die sich rasch bewegen und daher nur zu Momentaufnahmen eignen. Um den günstigen Augenblick der Belichtung bestimmen zu können, ist es daher notwendig, die DRÜNERSche Kamera mit einem Hilfsmikroskop auszurüsten, welches dann, wie Abb. 159 zeigt, die seitliche Beobachtung vor, während und nach der Aufnahme gestattet. In dieser Form entspricht die DRÜNERSche Kamera einer Aufsatzkamera für Stereo-

<sup>1</sup> Eine der DRÜNERSchen Kamera ähnliche Einrichtung hat auch W. HUTH (7) beschrieben.

mikrophotographie Wie beim „Phoku“ wird die Bildvergrößerung dadurch eingeschränkt, daß die Aufnahme ohne Okular und mit einer Kamera erfolgt, welche starke Wände, d. h. einen konstanten und recht kurzen Kammerauszug hat Die Vergrößerung an der Mattscheibe entspricht also der Einzelvergrößerung

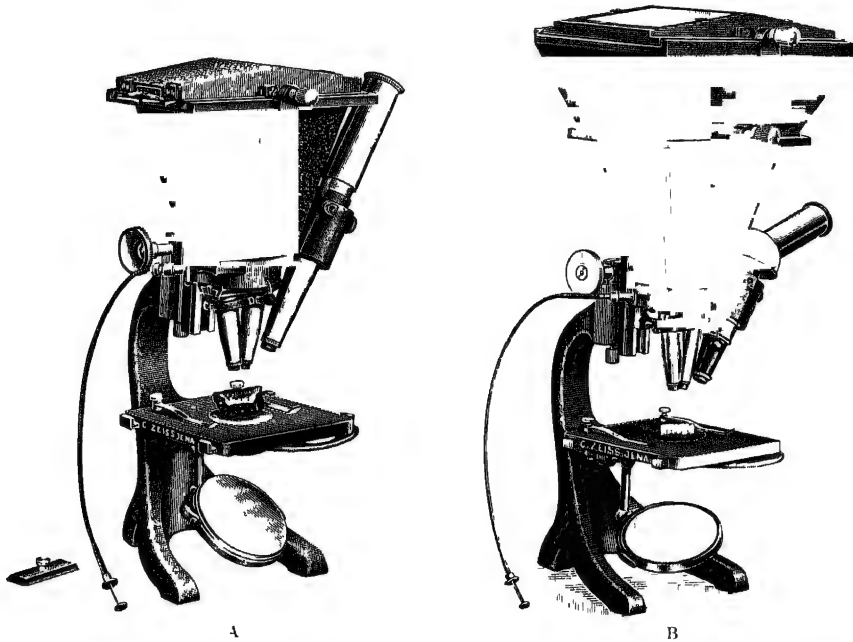


Abb. 159 Stereoskopkamera nach DRÜNER mit (B) und ohne (A) Vergrößerungsaufsatz  
(Aus ZEISS-Druckschnitt Mikro 257)

der Objektivpaare Für solche schwachen Vergrößerungen (stärkste Vergrößerung etwa 12fach) genügen Platten im Format  $6 \times 6$ , für welche die Zwillingsskassetten eingerichtet sind Man kann jedoch mit der DRÜNERschen Kamera die Bildver-

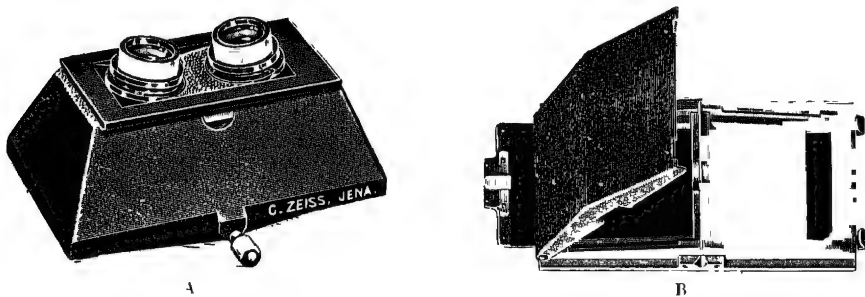


Abb. 160 Vergrößerungsaufsatz (A) und Zwillingsskette zur DRÜNERschen Kamera  
(Aus ZEISS-Druckschnitt Mikro 257)

größerung wesentlich dadurch steigern, daß man sie durch einen Vergrößerungsaufsatz ergänzt (Abb. 160) Dieser kegelförmig gestaltete Aufsatz, der mit dem hinteren Rahmen der DRÜNERschen Kamera verkoppelt wird, ist mit zwei Negativlinsen nach Art der Homale ausgerüstet und weist eine Einstellebene auf, in welcher zwei Platten im Format von  $8\frac{1}{2} \times 8\frac{1}{2}$  oder  $6 \times 9$  untergebracht werden können Durch den verlängerten Kammerauszug und noch mehr durch

die Negativlinsen werden die vom Objektivpaar gelieferten Teilbilder vergrößert. Man erhält so das vierfach vergrößerte Bild desjenigen ohne Vergrößerungsaufsatz. Bei der Form des Vergrößerungsaufsatzes kann man zur seitlichen Beobachtung das Hilfsmikroskop nicht in gerader Stellung benutzen, sondern es muß in einem Gelenk geknickt werden. Auch mit dem Vergrößerungsansatz lassen sich nicht so starke Vergrößerungen erzielen, wie man bei subjektiver Beobachtung durch geeignete Kombination von Okular- und Objektivpaaren (bis zu 336fach) zu erhalten pflegt. Die stärkste Vergrößerung mit der DRUNERSchen Kamera beträgt etwa 48fach (s. Tabelle 24).

Tabelle 24 Vergrößerungen der DRUNERSchen Kamera mit und ohne Aufsatz (Aus der ZEISS-Druckschrift Mikroskop 257, 1927)

Objektivpaare	(2)	(3)	(4)	(6)	(7) Pl	(8)	(12)
ohne Aufsatz	2	3	4	6	7	8	12
mit Aufsatz	8	12	16	24	28	32	48
Sehfeld auf Platte							
8 1/2 8 1/2 in mm	10 10	6,6 6,6	5 5	3,3 3,3	2,9 2,9	2,5 2,5	1,7 1,7

**111. Die Mikrostereokamera (LEITZ).** Eine stärkere Bildvergrößerung läßt sich mit der Mikrostereokamera der Firma LEITZ erzielen, die ebenfalls eine Zwillingskamera darstellt, jedoch mit einem Balgauszug<sup>1</sup>. Die Kamera ist auf einer Gleitstange, diese in einer Säule befestigt, welche seitwärts geneigt werden kann. Das binokulare Mikroskop befindet sich, wie bei der subjektiven Beobachtung üblich, mit einem Objektivpaar und mit Okularen ausgerüstet, unter der Kamera. Erst stellt man das stereoskopische Bild subjektiv ein und schwenkt dabei das Kameragestell seitwärts, dann wird die Kamera senkrecht gestellt und das Objektivbrett mit zwei Stützen auf die Okulare bzw. in die Lichtschutzmanschetten eingestellt. Man erhält auf diese Weise in der Einstellebene das subjektiv beobachtete Bild und kann es mit dem Balg auszug noch weiter vergrößern. Die Einstellebene ist auch hier dachförmig gestaltet und steht links und rechts senkrecht zu den Objektivachsen. Da die Kassetten in der Einstellebene in einem unveränderlichen Abstand zueinander liegen, kann man den Balg nicht beliebig lang ausziehen, und so ist auch hier die Vergrößerung beschränkt (schwache und mittelstarke Vergrößerungen). Die Kamera ist mit einem Zeit- und Momentverschluß, nicht aber mit einem seitlichen Beobachtungsrohr ausgerüstet. Momentaufnahmen sind also zwar auch mit dieser Einrichtung zu erzielen, bei rasch beweglichen Objekten hängt es jedoch stets nur vom Zufall ab, ob das Objekt im Moment der Aufnahme richtig im Sehfeld liegt (vgl. P. METZNER [4, S. 472]).

**112. Die Aufsatzkammer „Lukam“ (LEITZ).** Zu Momentaufnahmen mit dem binokularen Mikroskop hat die Firma LEITZ auch noch eine andere Einrichtung gebaut, nämlich die Aufsatzkammer „Lukam“, welche ganz die Form und Konstruktion hat wie die Aufsatzkammern „Macca“ oder „Makam“, nur fehlt ihr das seitliche Beobachtungsrohr (Abb. 161). Dieses wird durch das eine Rohr des binokularen Mikroskops ersetzt, mit welchem man das Bild subjektiv beobachten kann, während man auf dem anderen Rohr mit der Aufsatzkamera das photographische Bild erzeugt. Selbstverständlich werden die so erhaltenen Aufnahmen keine stereo-mikroskopischen Bilder liefern, in vielen Fällen genügen

<sup>1</sup> Wird derzeit nicht mehr hergestellt. Die Herstellerfirma empfiehlt an ihrer Stelle die Aufsatzkammer „Lukam“.

sie jedoch auch so, um die Beobachtungen mit dem binokularen Mikroskop festzuhalten. Die Vorbedingung dazu ist, daß das Objektivpaar gut zentriert und das Sehfeld in beiden Tubushälften gleichartig beleuchtet sei. Auch richtige stereo-mikroskopische Aufnahmen lassen sich erzielen, wenn man an jedes Tubusende des binokularen Mikroskops eine „Lukam“ aufsetzt. Allerdings fehlt dann die Möglichkeit der seitlichen Beobachtung, und das Gelingen der Aufnahme ist bei rasch beweglichen Objekten ebenso unsicher wie mit der Mikrostereokamera. Die geschilderten Apparate der Firma LEITZ bieten den Vorteil, daß man das photographische Bild mit denselben optischen Mitteln erzielt, mit denen man das Bild subjektiv beobachtet hat.

### 113. Der Schärfenraum bei Apparaten mit gekreuzten Einstellebenen.

Bisher haben wir nur eine Art der stereo-mikrophotographischen Aufnahme kennengelernt, nämlich das Verfahren mit gekreuzten Einstellebenen, wo die Einstellebenen der Zwillingskamera zur Symmetrieachse des Mikroskops geneigt stehen und sich kreuzen wurden, falls man die einzelnen Halbbilder verlängert vorstellt. Die Einstellebenen der Halbbilder sind also so schief gestellt, daß der Strahlengang des optischen Systems rechts und links gerade senkrecht auf diese Ebenen fällt, ähnlich wie die Strahlen von der rechten

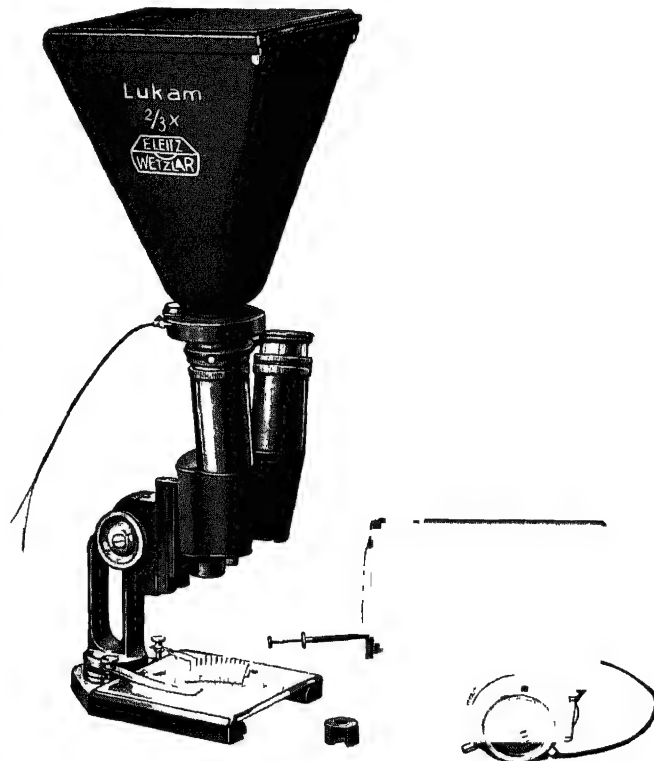


Abb. 161. Die Aufsatzkamera „Lukam“ mit einem binokularen Präpariermikroskop der Firma E. LEITZ. (Aus LEITZ-Druckschnitt Mikrophoto 2329)

und linken Seite eines körperlichen Objekts in die zum binokularen Sehen konvergierenden Augen (Abb. 162). Im Prinzip bleibt es dabei gleichgültig, ob man beide Halbbilder gleichzeitig auffängt, wie bei der DRUNER-Kamera und der Mikrostereokamera, oder die zwei Halbbilder hintereinander photographiert, wie es zuerst 1902 SCHEFFER (1) angegeben hat. In letzterem Fall benutzt man die

„Lukam“, die Mikrostereokamera nach SCHMEHLIK (von der Firma HIMMELER, Berlin) oder die stereomikrophotographische Kamera nach SCHEFFER (von der Firma FUSS, Berlin). Sind die Halbbilder einmal richtig erzielt, so erhält man im Stereoskop einen stereoskopischen Effekt gleichgültig, ob die Belichtung gleichzeitig oder nacheinander erfolgt ist. In praktischer Hinsicht bietet eine Zwillingskamera den Vorteil, daß man mit dieser auch von beweglichen Objekten stereoskopische Momentaufnahmen erzielen kann. Ein grundsätzlicher Mangel haftet jedoch allen Apparaten mit gekreuzten Einstellebenen an,

und zwar ist dieser von der eigentümlichen Gestalt des Scharfenraumes bedingt. Der Ort, wo das Objekt noch mit genügender Schärfe abgebildet wird, ist nicht eine geometrische Ebene, sondern ein Raum, der je nach der Abbildungstiefe des Objektivs mehr oder weniger

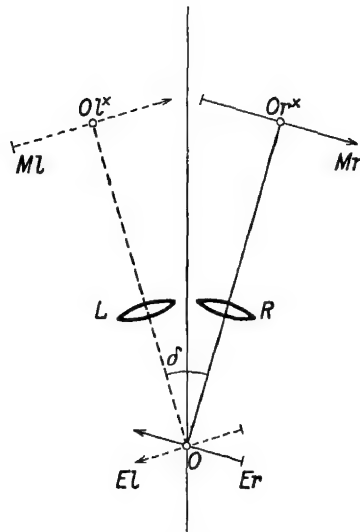


Abb 162 Die Teilbildung des stereoskopischen Bildes durch die beiden Einstellebenen

$L$  und  $R$  = Linsen der abbildenden Systeme,  $Er$  und  $El$  = die Einstellebenen,  $O$  = Schnittpunkt der Einstellebenen und der Achsen der abbildenden Systeme,  $\delta$  = Konvergenzwinkel,  $Mr$ ,  $ML$  = die Ebenen der Halbbilder,  $O^*$ ,  $O^*$  = Bildpunkte des Objektpunktes  $O$  (Aus A. KÖHLER [9, Abb 264, S. 367])

ausgedehnt ist und von zwei parallelen Flächen begrenzt wird, die oberhalb und unterhalb der Einstellebene liegen. Die beiden Scharfenräume der Halbbilder überschneiden sich aber in der Symmetrieachse des Mikroskops, und es entsteht also in der Überkreuzung ein beiden Halbbildern gemeinsamer Scharfenraum, der im optischen Querschnitt eine rhombische Form zeigt (Abb 163). Nur der Bezirk des stereoskopischen Bildes wird genügend scharf erscheinen, welcher aus dem gemeinsamen Scharfenraum stammt, aus dem Teil der Halbbilder also, die in dem rhombisch begrenzten Raum liegen. Bei schwachen Objektiven, wo die geringere Apertur mit einer großen Abbildungstiefe einhergeht, ist der Scharfenraum des stereoskopischen Bildes starker ausgedehnt als bei den starken Objektiven. Außerdem hat auch die Form des Objekts Einfluß darauf, ob man in seinem stereoskopischen Abbild einen größeren oder kleineren Bezirk scharf wahrnehmen wird. Kleine Objekte, die in allen Dimensionen gleich beschaffen sind, oder solche, die nur in einer Richtung starker ausgedehnt sind, werden in ihrer ganzen Ausdehnung scharf abgebildet, flächenhaft ausgebreitete größere Objekte zeigen jedoch im Abbild nur einen schmalen Streifen scharf und das übrige unscharf. Auch Verzerrungen der Abbildung sind oftmals zu beobachten, die von der schiefen Lage der Einstellebene herrühren.

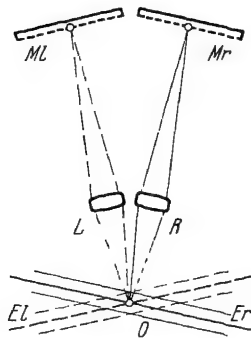


Abb 163 Der gemeinsame Scharfenraum der Halbbilder bei Aufnahme eines körperlichen Objekts (Aus A. KÖHLER [9, Fig 951 u, S. 1954])

wie es nötig ist, damit die Sehachse des rechten Auges auf das linksgestellte und die des linken auf das rechtsgestellte Objekt senkrecht fällt. Wohlgedenkt spielt es bei dieser Art der Stereomikrophotographie keine Rolle, ob man subjektiv

die Abbildungstiefe des Objektivs mehr oder weniger ausgedehnt ist und von zwei parallelen Flächen begrenzt wird, die oberhalb und unterhalb der Einstellebene liegen. Die beiden Scharfenräume der Halbbilder überschneiden sich aber in der Symmetrieachse des Mikroskops, und es entsteht also in der Überkreuzung ein beiden Halbbildern gemeinsamer Scharfenraum, der im optischen Querschnitt eine rhombische Form zeigt (Abb 163). Nur der Bezirk des stereoskopischen Bildes wird genügend scharf erscheinen, welcher aus dem gemeinsamen Scharfenraum stammt, aus dem Teil der Halbbilder also, die in dem rhombisch begrenzten Raum liegen. Bei schwachen Objektiven, wo die geringere Apertur mit einer großen Abbildungstiefe einhergeht, ist der Scharfenraum des stereoskopischen Bildes starker ausgedehnt als bei den starken Objektiven. Außerdem hat auch die Form des Objekts Einfluß darauf, ob man in seinem stereoskopischen Abbild einen größeren oder kleineren Bezirk scharf wahrnehmen wird. Kleine Objekte, die in allen Dimensionen gleich beschaffen sind, oder solche, die nur in einer Richtung starker ausgedehnt sind, werden in ihrer ganzen Ausdehnung scharf ab-

#### 114. Die Methoden mit gekreuzten Objektebenen.

Bessere Bedingungen der Abbildung erhält man, wenn man die Halbbilder nicht durch gekreuzte Einstellebenen, sondern durch gekreuzte Objektebenen erzielt. Für den stereoskopischen Effekt bleibt es im wesentlichen gleichgültig, ob man das horizontal liegende Objekt auf zwei dem Konvergenzwinkel entsprechend schief gestellten Einstellebenen (Platten) von rechts und links abbildet und die zwei Halbbilder dann zu einem Raumbild vereinigt oder umgekehrt mit waagrecht gestellten Einstellebenen (Platten) die zwei Halbbilder so erzielt, daß man das Objekt bald in die Blickrichtung des rechten, bald in die des linken Auges einstellt. Man muß also das Objekt bald nach der einen, bald nach der anderen Seite so schief stellen

das im Mikroskop sichtbare Bild binokular oder monokular betrachtet. Das Wesentliche ist, daß die Halbbilder nur mit einem Objektivsystem und nicht mit Linsenpaaren erzeugt werden. Man kann auch, wie P. METZNER (4, S. 473) beschreibt, stereo-mikrophotographische Aufnahmen mit einem binokularen monoobjektiven Mikroskop erzielen, indem man eine größere Kamera, deren Stirnbrett mit zwei Öffnungen versehen ist, auf den binokularen Aufsatz der Firma ZEISS oder LEITZ stellt. Man verwendet also zu den Aufnahmen ein monokulares oder auch binokulares und monoobjektives Stativ und erzeugt die photographischen Halbbilder vom Objekt mit einer stereoskopischen Wippe (s. SCHEFFER [2], SCHMEHLIK [1, 2]), auf der das Objekt nach der rechten und der linken Seite hin geneigt werden kann. Die stereoskopische Wippe (Abb. 164) besteht aus einer Drehscheibe auf einer Kippachse und ist sowohl bei Aufnahmen in durchfallendem wie bei solchen in auffallendem Licht zu gebrauchen. Im letzteren Fall erweist sich die Kombination der Wippe mit einem großen LIEBERKUN'schen Spiegel als sehr vorteilhaft (SCHMEHLIK [1, 2]), denn auf diese Weise wird das Objekt in jeder Neigung gleichmäßig beleuchtet, während sonst z. B. mit einem Vertikalilluminator, die Beleuchtung mit dem Objekt gleichmäßig genügt werden mußte, um kein Wandern der Schatten auf der Oberfläche des Objekts

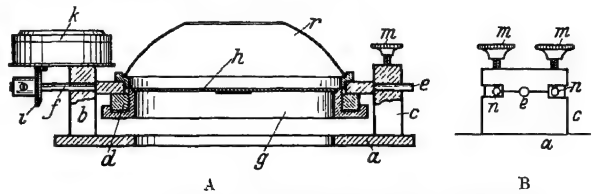


Abb. 164 Wippe für mikrosteroskopische Aufnahmen  
A Wippe im Längsschnitt B Lager der Wippe in der Ansicht  
a = Grundplatte, b, c = die Lager der Wippe, d = Rahmen,  
e, f = Zapfen, g = Ring zum Halten des Objekts, h = Hebel,  
l = Zeigerwerk, m, n = Schrauben zum Lockern  
(Aus der Gebrauchsanweisung der Firma O. HUMMEL)

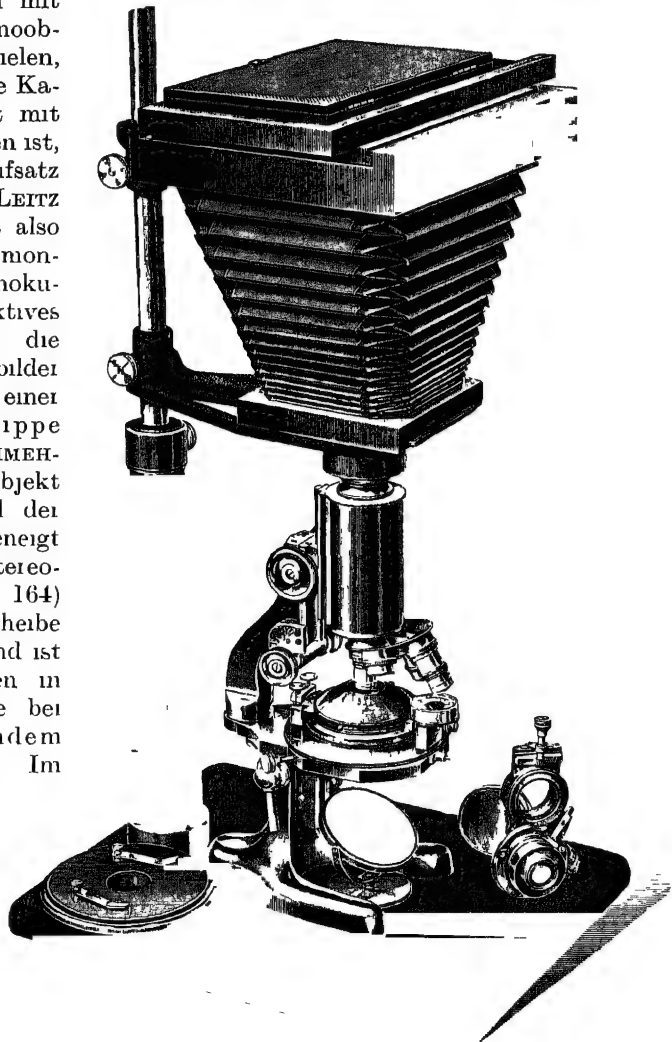


Abb. 165 Mikrophotographische Einrichtung der Firma O. HUMMEL mit der Wippe (Aus dem Prospekt P. 1909 der genannten Firma)

Vertikalilluminator, die Beleuchtung mit dem Objekt gleichmäßig genügt werden mußte, um kein Wandern der Schatten auf der Oberfläche des Objekts

zu erhalten (Abb 165) Solche Wippen, wie sie zuerst von v BABO und MORTESIER (1) angegeben und dann erst von FRITSCH (2), später von SCHMEHLIK (1) in einer recht praktischen Form ausgearbeitet wurden, eignen sich nur für Aufnahmen in einem großen Gesichtsfeld, d h bei schwachen Objektiven. Ist das Sehfeld enger begrenzt, so wandert das Objekt beim Kippen aus dem Gesichtsfeld heraus. Bei stärkeren Objektiven gestattet schon der kurze Objekt-Abstand nicht, daß man das Objekt auf einer Wippe unter der Linse aufstellt.

**115. Die Methoden mit zusammenfallenden Einstellebenen.** Die Verfahren mit gekreuzten Einstellebenen (Zwillingskamera) und mit gekreuzten Objektebenen (stereoskopischer Wippe) stellen nach A KOHLER (8, S 1949) die erste Hauptgruppe der stereo-mikrophotographischen Methoden dar, der gegenüber eine zweite Hauptgruppe zu unterscheiden ist, bei welcher die photographische Einstellebene und die mikroskopische Objektebene planparallel bleiben (zusammenfallende Einstellebenen) (Abb 167). Die



Abb 166 Sehfelddiagonale für Stereoaufnahmen

Halbbilder der stereoskopischen Aufnahmen werden hier entweder durch die Parallelverschiebung des Objekts oder der Platte erzeugt. Im ersteren Fall, beim Verfahren mit dem Verschieben des Objekts, wird das rechte Halbbild durch

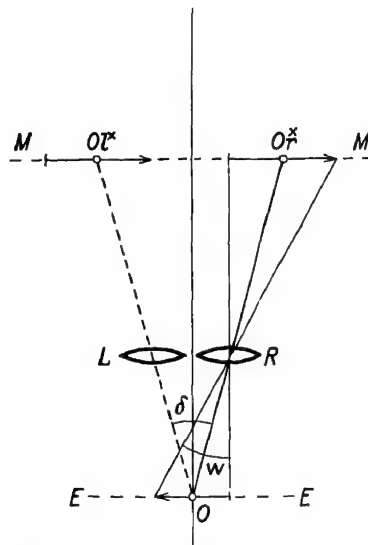


Abb 167 Die Entstehung der stereoskopischen Halbbilder bei zusammenfallenden Einstellebenen

$W$  = Winkel, den die Strahlen aus dem in die Richtung des Pfeiles verschobenen Objektpunkte mit der optischen Achse des einen abbildenden Systems (hier  $R$ ) einschließen (Aus A KOHLER [9, Abb 265, S 368])

Verschiebung des Objekts nach links von der Mittellinie und das linke Halbbild umgekehrt erzielt. Dazu braucht man keine besonderen Hilfseinrichtungen, nur einen Kreutztisch oder Objektführer und, was die Hauptbedingung ist, ein so großes Sehfeld, daß das Objekt auch im rechten oder linken halben Sehfeld in seiner ganzen Ausdehnung abgebildet wird. In vielen Fällen muß man nämlich das Objekt innerhalb des Sehfelds so weit verschieben, daß bei der Aufnahme des rechten Halbbildes der rechte, beim linken Halbbild aber der linke Rand des Objekts in der Mittellinie oder ihr nahe liegen soll. Die Halbbilder werden am häufigsten auf ein und derselben Platte aufgenommen, und in solchen Fällen dürfen sich die Halbbilder auch teilweise nicht überdecken. Es wird aber stets zu einer Überdeckung der Halbbilder kommen, wenn sie bei der Aufnahme mit ihren medialen Rändern über die Mittellinie hinaus nach der anderen Seite hin übergreifen. Ist das Objekt zu weit von der Symmetrieachse entfernt, so stehen die Halbbilder auf der Platte zu weit voneinander und lassen sich im Stereoskop schwer ver-

einigen. Die Halbbilder auf derselben Platte erzielt man entweder so, daß man bei der Aufnahme des rechten Halbbildes (Objekt nach links geschoben) die linke, beim linken Halbbild (Objekt nach rechts geschoben) die rechte Hälfte der Platte durch eine Einlegeblende mit seitlich angebrachtem Ausschnitt verdeckt.

**116. Die stereo-mikrophotographischen Einlegeblenden.** Es gibt zwei Arten von Einlegeblenden, und zwar mit einem zentrischen und einem exzentrischen Ausschnitt. Die zentrischen Blenden benutzt man bei Aufnahmen mit schiefer

Licht (s S 267), in den hier besprochenen Fällen werden aber die exzentrischen Blenden eingelegt (Abb 166), welche für Aufnahmen auf einer Platte 9 12 cm einen Ausschnitt von 54 mm, bei größeren Platten einen solchen von 70 mm aufweisen. Da die Bilder in den Abzügen umgekehrt liegen als das mikroskopische Bild, muß man sie bei der Betrachtung mit einem Stereoskop um  $180^\circ$  drehen, und zwar so, daß man den Abzug mit den zwei Halbbildern zerschneidet und jedes für sich (nicht beide gemeinsam) umdreht. Man kann natürlich ebensogut die Halbbilder auf einer Platte mit der Schiebekassette erhalten (s S 98 und SKELL [1]). Die Schiebekassette bietet den Vorteil, daß man dann die Kopie im ganzen umdrehen kann und sie nicht in die zwei Halbbilder zu zerschneiden braucht.

Mit diesen Methoden der Stereo-Mikrophotographie lassen sich Stereoaufnahmen auch bei stärkeren Vergrößerungen herstellen. Zu beachten ist jedenfalls, daß das Verschieben der Objekte eine gewisse Größe des Sehfelds bedingt und die Größe des Sehfelds von der Brennweite des Objektivs abhängig ist. Andererseits hängt auch der stereoskopische Effekt von der Brennweite des Objektivs derart ab, daß man von Objektiven mit kürzerer Brennweite bei gleicher Verschiebung des Objekts und gleicher Vergrößerung des Bildes eine bessere Stereowirkung erhält als von solchen mit längerer Brennweite.

Die Erzeugung von stereoskopischen Halbbildern durch Parallelverschiebung der Kammerachse, wie sie in der Stereo-Makrophotographie vielfach üblich ist, wird in der Mikrophotographie nur selten ausgeübt. Das Verfahren besteht darin, daß man das photographische Objektiv (oder die entsprechenden anastigmatischen Objektive) mit dem Stürnbrett der Kamera aus der Mittellinie etwas nach rechts und dann nach links verstellt. Das Maß der Verschiebung des Objektivs soll dabei möglichst klein bleiben, da der Konvergenzwinkel, mit dem man dann die Halbbilder betrachten muß, schon bei geringeren Verschiebungen starker ausfällt als bei einer Verschiebung des Objekts. Der Unterschied wird allerdings um so weniger bemerkbar, je stärker die Vergrößerungen sind. Stärkere Vergrößerungen kommen jedoch für das Verfahren mit der Verschiebung der Kameraachse schon deshalb nicht in Betracht, weil man mit Objektiven, die man an dem Objektivbrett der Kamera befestigt, nur die schwachsten Vergrößerungen zu erzielen pflegt. Bei solchen Aufnahmen, namentlich in auffallendem Licht, bietet das Verfahren aber den Vorteil, daß die Störungen in der Beleuchtung, die beim Verschieben des Objekts vorkommen, hier vermieden werden.

Die dritte Hauptgruppe der stereo-mikrophotographischen Methoden enthält solche Verfahren, bei denen sowohl die photographische Einstellebene wie die Objektebene unverändert und planparallel zueinander bleiben, dagegen die Richtung der Beleuchtung so verändert wird, daß man das Objekt einmal von der rechten und dann von der linken Seite her schief beleuchtet (Abb 168). Man erhält dann zwei Halbbilder, die von zwei entgegengesetzten Seiten her beleuchtet sind und, im Stereoskop vereinigt, einen stereoskopischen Effekt erzeugen können (GEBHARDT [1]). Die schiefe Beleuchtung der Halbbilder läßt sich nun auf zwei Arten herstellen: entweder schiebt man in die Eintrittspupille des Beleuchtungsapparats eine Lochblende nach GEBHARDT oder die zugezogene Irisblende hintereinander nach rechts und nach links, oder aber man stellt den Spiegel einmal nach der rechten und dann nach der linken Seite. Die seitliche Verschiebung der Kondensoröffnung ist überall leicht auszuführen, wo das Mikroskop mit dem ABBES'schen Apparat ausgerüstet ist, dessen Irisblende auf ihrem Träger mit einem Trieb nach beiden Seiten mindestens um 4—5 mm verschoben werden kann. Es ist dabei vorteilhaft, wenn der Blendenträger auch eine



Millimeterteilung hat, auf der man die seitliche Verschiebung genau ablesen kann. Die Firma ZEISS verfertigte auch einen speziellen Kondensor mit einer Stereoblende (Abb 169). Mit der Verschiebung der Stereoblende nach zwei Richtungen kann man in doppelter Weise eine schiefe Beleuchtung erreichen. Photographiert man also das Objekt einmal bei schiefer Beleuchtung von rechts und dann mit einer solchen von links (mit rechtshin und danach linkshin verschobener Stereoblende), so erhält man die beiden Halbbilder zu einer stereo-

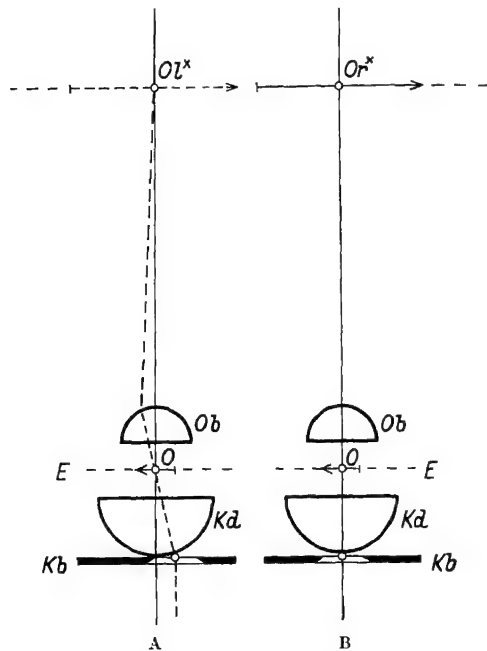


Abb 168 Die Entstehung der stereoskopischen Halbbilder bei schiefem Licht

A Strahlengang bei exzentrischer Stellung der Kondensorblende Kb, B bei zentraler Stellung der Kondensorblende Kb = Kondensor, Ob = Objektiv  
(Aus A. KÖHLER [9, Abb 267, S. 370])

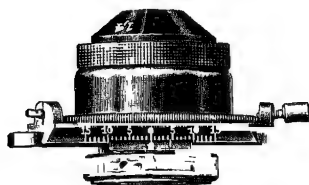


Abb 169 Stereoblende mit Kondensor (Aus ZEISS Druckschnit. Mikro 401)

Verfahren, welches zuerst von PFEIFFER VON WETTING (1) und KAISERLING (2) ausgearbeitet wurde, wird die Blendenöffnung zuerst eng zusammengezogen und zentrisch im Sehfeld abgebildet. Dann neigt man den Spiegel nach der einen Seite, wobei das Bild der engen Blendenöffnung nach der entgegengesetzten Richtung wandert. Man beurteilt den Grad der schiefen Beleuchtung an einer engen Blende, die man in das Okular einsetzt, und holt mit der Neigung des Spiegels auf, wenn das Bild der Innblende vom Rand der Okularblende

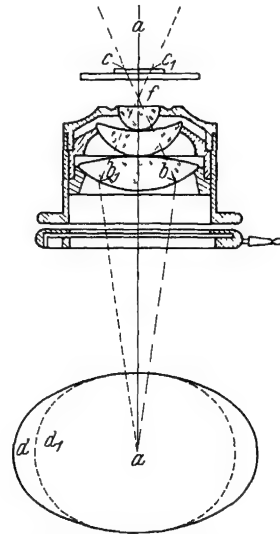


Abb 170 Strahlengang im Kondensorsystem des ABBI'schen Beleuchtungsapparates

$f = 8 \text{ mm}$ , Schnittweite  $1,8 \text{ mm}$ ,  $Ap 1.4$ ,  
 $aa =$  zentraler Strahlengang,  $abc =$  das  
selbe nach rechts,  $ab_1c_1 =$  dasselbe nach  
links abgelenkt,  $d =$  Spiegel in zentraler,  
 $d_1 =$  in seitlich geneigter Stellung,  
 $cc_1 =$  Weg des Bildbildchens in die Ob-  
jektenebene verlegt,  $bb_1 =$  Weg des Strahlen-  
bündels auf der untersten Linsenfläche  
des Kondensors. (Aus 1. PFEIFFER V.  
WETTING [1, Abb. 1])

skopischen Betrachtung (s. SKERT [1]). Wie weit man dabei die Blende seitlich verschieben soll, um den besten stereoskopischen Effekt zu erzielen, muß jeweils durch Versuche ermittelt werden.

Genau dieselbe Wirkung tritt ein, wenn man nichts am Beleuchtungsapparat verändert, sondern nur den Spiegel unter einem bestimmten Winkel schieft stellt, das eine Mal nach rechts, das andere Mal nach links (Abb 170). Bei diesem

gerade halbiert wird. Dann entfernt man die enge Okularblende oder wechselt das Okular und geht zur eigentlichen Aufnahme über. Dazu wird aber die Irisblende vollständig geöffnet und nur die Kollektorblende (auf 5—10 mm Öffnungsdurchmesser) zugezogen. Blickt man ohne Okular in den Tubus, so erscheint jetzt nur die linke oder nur die rechte Seite der Austrittspupille des Objektivs ausgeleuchtet. Die ausgeleuchtete Seite liefert dann das Halbbild, das man auf der photographischen Platte auffangen will. Beim zusammengesetzten Mikroskop, wo das Bild aufrecht entsteht, erhält man von der rechten Hälfte der Austrittspupille, d. h. bei nach links gestelltem Spiegel, das rechte und von der linken Hälfte das linke Halbbild, beim einfachen oder beim Mikroskop mit Homalen umgekehrt. Das zweite Halbbild wird ebenso erzeugt, nur wandert dabei das Bild der Irisblende natürlich in der entgegengesetzten Richtung. Man kann auch im voraus bestimmen, unter welchem Grad der Spiegel für die zweite Aufnahme geneigt werden muß, wenn man schon das erste Halbbild richtig schief beleuchtet hat. Der Mikroskopspiegel ist nämlich mit einer Vorrichtung ausgerüstet (Abb 171), die genau die Spiegeldrehung regelt bald in der einen bald in der anderen Richtung.

Bei starken Vergrößerungen wird man stereo-mikrophotographische Aufnahmen am besten mit dem Verfahren der schiefen Beleuchtung erzielen. Abgesehen davon, daß hier keine besonderen Nebenapparate erforderlich sind, liegen die optischen Verhältnisse so, daß man gerade mit den großen Aperturen der mittleren und starken Objektive den zum stereoskopischen Sehen notwendigen Konvergenzwinkel (etwa  $14^{\circ}$ ) leicht erhalten wird. Ebenso leicht erhält man aber auch bedeutend größere Konvergenzwinkel, die dann die Vereinigung der Halbbilder zu einem Raumbild wesentlich erschweren. Diesen Nachteil vermeidet man einfach dadurch, daß man die optische Achse des Beleuchtungskegels nicht allzu schief stellt, d. h. die Irisblende oder den Spiegel nur so weit seitlich verstellt, daß das Bild der Blendenöffnung, die Austrittspupille der Beleuchtung, noch in der Austrittspupille des Objektivs, vom Rande dieser letzteren weit genug absteht. Eine allzu große seitliche Verschiebung der Blendenöffnung ist auch schon deshalb schädlich, weil man dadurch einen Teil der Beugungsspektren, die nach der ABBESchen Theorie das Strukturbild erzeugen, aus der Apertur des abbildenden Systems ausschaltet, und zwar rechts und links in verschiedener Weise.

Die so erzeugten Halbbilder können, wie schon bei den früheren Methoden angegeben, entweder auf zwei gänzlich getrennten kleineren Platten oder auf zwei getrennten Gebieten einer größeren Platte aufgenommen werden. Im letzteren Fall muß man natürlich entweder eine Schiebekassette benutzen oder die gewöhnliche Kassette mit der exzentrischen Blende. Benutzt man eine Schiebekassette so bleibt das Objekt bei den Aufnahmen unverändert in der Mitte des Gesichtsfelds eingestellt, und die Platte wird entsprechend in die optische Achse der Kamera verschoben. Dazu muß die Kassette mit einer zentrischen Einlegeblende ausgerüstet sein. In welcher Richtung man die Platte mit der Schiebekassette verschieben soll, damit man die Halbbilder auf der richtigen Seite erhält, hängt davon ab, ob man mit dem zusammengesetzten Mikroskop ein aufrecht stehendes Bild oder mit dem einfachen oder dem Mikroskop mit Homalen ein umgekehrtes Bild

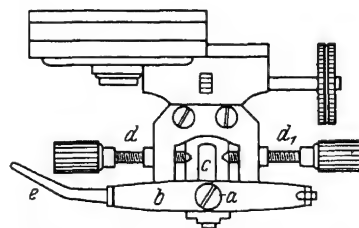


Abb 171. Anschlagvorrichtung zur Feinregulierung des Maßes der Spiegeldrehung.  $a$  = Stift mit mit der Halbkugel, die den Aufhängebogen trägt,  $b$  = Zunge,  $c$  = Zunge,  $d$  und  $d_1$  = Schrauben, welche die Größe des Ausschlags der Spiegeldrehung regeln bzw. fixieren,  $e$  = Hebel zur Spiegeldrehung. (Aus: P. F. J. R. V. WELLENFELD [1 Abb. 3])

erzielt. Liegt das mikroskopische Bild auf der Einstellebene der Kamera umgekehrt, so wird man die Platte in der Schiebekassette stets in umgekehrter Richtung verschieben müssen, als man die Stereoblende verschoben oder den Spiegel schief gestellt hat. Werden aber die Aufnahmen mit aufrecht stehender Halbbildern erzeugt, so verschiebt man die Platte stets in derselben Richtung wie die Stereoblende. Benutzt man aber eine gewöhnliche Kassette und eine einzige Platte zu beiden Halbbildern, so muß man für jedes Halbbild auch das Objekt etwas nach rechts oder nach links von der Mitte des Sehfelds verschieben (immer in der entgegengesetzten Richtung wie die Kondensorblende steht). Die Platte wird mit einer exzentrischen Einlegeblende geschützt, die man zwischen den zwei Aufnahmen umdrehen muß. Auf welche Seite man den Ausschnitt der exzentrischen Blende stellen soll, um das rechte oder das linke Halbbild aufzufangen, hängt ebenfalls von der aufrechten oder umgekehrten Stellung des mikroskopischen Bildes ab. Bei aufrecht stehend erzeugten Bildern wird der Ausschnitt der Blende auf derselben Seite liegen wie das Objekt und in entgegengesetzter Richtung wie die Kondensorblende, bei umgekehrten Bildern aber auf der entgegengesetzten Seite wie das Objekt und auf der gleichen Seite mit der Kondensorblende.

Statt zwei Halbbildern mit schiefer Beleuchtung kann man auch nur ein Halbbild schief beleuchten und das andere in geradem Licht aufnehmen. Dann wird die eine Aufnahme in der üblichen Weise mit einem zentrischen Beleuchtungskegel erzeugt, und nur die zweite Aufnahme erfolgt bei seitlich verschobener Blende oder schief gestelltem Spiegel. Fällt das Licht bei dieser letzteren Aufnahme von der rechten Seite her schief auf das Objekt, so wird die Aufnahme das rechte Halbbild liefern und das in geradem Licht erzeugte das linke. Solche Stereoaufnahmen werden hauptsächlich dort gewünscht, wo man das eine Halbbild zur drucktechnischen Vervielfältigung oder sonst zur monokularen Betrachtung verwenden will. Im Stereoskop wird so die räumliche Wirkung des Bildes begreiflicherweise weniger ausgeprägt sein als bei den Halbbildern mit beiderseitig schiefer Beleuchtung.

Wir haben also sechs verschiedene Methoden der stereo-mikroskopischen Aufnahmen kennengelernt, die nach ihrer optischen Natur in drei Gruppen geteilt werden, dies sind 1. die Methode der gekreuzten Einstellebenen 2. die Methoden mit paralleler Verschiebung des Objekts oder der Kamera und 3. die Methoden mit beiderseitig schiefer Beleuchtung des Objekts. Nur eine einzige Methode, und zwar die mit gekreuzten Einstellebenen der Kameras, gestattet praktisch eine gleichzeitige Aufnahme von beiden Halbbildern, nur mit dieser kann man also Stereoaufnahmen von beweglichen Objekten erhalten (Momentaufnahmen). Zu Aufnahmen mit starken Objektiven eignen sich nur die Methoden der 3. Gruppe, die Verfahren der zwei anderen Gruppen benutzt man bei ganz schwachen bis mittleren Vergrößerungen. Mit allen sechs Methoden kann man die Stereoaufnahmen sowohl in durchfallendem wie auch in auffallendem Licht erzeugen. Für Stereoaufnahmen in auffallendem Licht bei einseitig schiefer Beleuchtung eignet sich zunächst die DRUNERSche Kamera oder die Mikrostereokamera der Firma LEITZ, für solche mit allseitig schiefer Beleuchtung die stereoskopische Wippe nach SCHMEHLIK in Verbindung mit einem LIEBFERHANSschen Spiegel.

**117. Die Belichtung und die weitere Behandlung der Aufnahme.** Was die Belichtung und die photographische Behandlung der Aufnahmen anbelangt, müssen selbstverständlich beide Halbbilder in der gleichen Weise belichtet und weiterbehandelt werden. Werden die Halbbilder hintereinander belichtet, so muß man für die erste Aufnahme die Belichtungszeit durch eine Belichtungsreihe ermitteln und die zweite Aufnahme bei derselben Belichtungszeit an-

führen. Ebenso muß auch die Entwicklungszeit und die Art der Entwicklung für beide Halbbilder die gleiche sein. Es ist z. B. nicht angängig, daß man die Entwicklerlösung vor der Behandlung des zweiten Halbbilds verdünnt oder mit Bromkali dampft. Gerade bei der Entwicklung stereoskopischer Aufnahmen bewahrt sich die Methode der Entwicklungsproben (s. S. 114) vorzüglich. Man trachte also, eine bestimmte Konzentration der Entwicklerlösung (z. B. Rodinal 1 : 20) und eine bestimmte Entwicklungszeit (z. B. 3 oder 5 Minuten) festzusetzen und aus der Belichtungsreihe diejenige Belichtungszeit zu wählen, bei welcher das Negativ die günstigste Gradation zeigt. Ist nämlich ein Unterschied in der Gradation der Halbbilder bemerkbar, so kann man diesen beim positiven Verfahren schwer ausgleichen, und die Kopien der Halbbilder werden im Stereoskop keinen richtigen stereoskopischen Effekt ergeben. Es sei dabei bemerkt, daß etwas härtere Negative sich zu stereoskopischen Bildern besser eignen als weichere.

Es braucht wohl nicht besonders betont zu werden, daß die Halbbilder auch beim Drucken eine vollkommen gleiche Behandlung erfordern. Am besten kann man dieses Ziel erreichen, wenn die Negative auf derselben Platte erzeugt wurden, und man beide auf einem Blatt Entwicklungspapier mit einer einzigen Belichtung kopiert. Auch bei Aufnahmen auf zwei Platten kann man die Drucke aber vollkommen gleich belichten, wenn man für einen entsprechend großen Kopierrahmen sorgt, in welchem beide Platten gemeinsam Platz finden. Sonst muß man peinlichst darauf achten, daß die Kopie des einen Halbbildes genau so lange und aus derselben Entfernung belichtet wird wie die andere, was noch am besten in einem Belichtungskasten erfolgt.

Von entscheidender Bedeutung für den stereoskopischen Effekt ist die Lage der Halbbilder bei der stereoskopischen Betrachtung (vgl. dieses Handbuch VI, Teil I). Das Raumbild oder das körperliche Sehen wird erst dann erzielt, wenn man die Halbbilder in einem Stereoskop aufstellt, und zwar in derselben Lage, wie sie im Objekt gelegen sind, d. h. das von der linken Seite aufgenommene Bild links und das von der rechten erhaltene rechts, dabei aber in einer Entfernung voneinander, bei welcher die Augen des Beobachters unter dem normalen Konvergenzwinkel auf die Halbbilder gerichtet werden können. Sind die Halbbilder irgendwie vertauscht oder liegen sie umgekehrt zum Objekt (auf den Kopf gestellt), so wird man einen sog. pseudoskopischen Effekt erhalten (s. dieses Handbuch VI, Teil I, 72), wo man das, was im Objekt hinten lag, im Bild vorn sieht und umgekehrt (negative Plastik). Ist aber der Abstand zwischen den zwei Halbbildern bei der Betrachtung im Stereoskop zu groß, so werden die Augen bei der Vereinigung des Halbbildes allzusehr angestrengt. Am einfachsten liegen die Verhältnisse dort, wo man mit einer Zwillingkamera zwei aufrecht stehende Halbbilder gleichzeitig auf zwei Platten erzeugt hat. Hier braucht man die Abzüge nur so aufzustellen, daß sie auf der richtigen Seite stehen und das linke Halbbild vom linken, das rechte vom rechten Auge betrachtet wird. Dort aber, wo die Bilder auf einer Platte nebeneinander oder auf zwei Platten hintereinander aufgenommen werden, müssen die Aufnahmen nummeriert oder mit irgendeiner Marke versehen werden, damit man nach dieser Marke die Stellung der Halbbilder für die stereoskopische Betrachtung feststellt. Man benutzt dazu das von A. KOHLER (8, S. 1973) angegebene Verfahren und schreibt auf die Schichtseite der Platte vor der Aufnahme eine Nummer mit einem weichen Bleistift. Bei Kassetten, deren Schieber seitlich nach rechts oder links gestellt ist, bezeichnet man die untere linke Ecke der Platte (Abb. 172). In der Einstellenebene wird nun die Zahl, von oben betrachtet, in der oberen linken Ecke liegen, und zwar auf den Kopf gestellt, im Spiegelbild. Hält man das Negativ so, daß dieses Spiegelbild in der linken oberen Ecke liegt, so erhält man stets das linke und das

rechte Halbbild in derselben Lage, wie sie vom Mikroskop auf die Platte projiziert wurden. Beim Aufkleben der Abzüge verfährt man verschieden, je nachdem, ob man ein aufrecht stehendes Bild (zusammengesetztes Mikroskop mit positiven Okularlinsen) oder ein umgekehrtes Bild (einfaches Mikroskop oder zusammengesetztes mit Homalen) erzielt hat. Bei aufrecht stehenden Halbbildern bleibt die Nummerierung auf dem Abzug an derselben Stelle, wo sie am Negativ stand (in der linken oberen Ecke). Bei umgekehrten Halbbildern muß man aber die Kopien einzeln um  $180^\circ$  drehen und die Bilder so aufstellen, daß die Nummer in diametral entgegengesetzter Richtung liegt wie auf dem Negativ. Bei Kassetten, deren Schieber nach vorn oder nach hinten gerichtet ist, muß die Lage der Marke dementsprechend bestimmt werden. Die Marke, welche man in der unteren linken Ecke der Platte angebracht hat, wird hier z. B. in der unteren rechten Ecke des Negativs liegen (im Spiegelbild), sonst behandelt man die Abzüge in der gleichen Weise wie oben geschildert. Dort, wo man beide

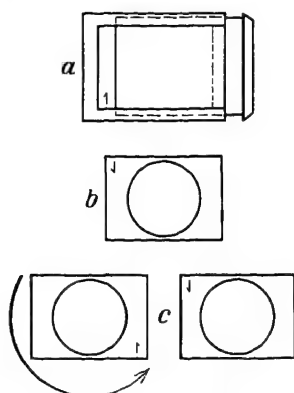


Abb. 172 Bezeichnung der Platte in einer von rechts einzuschubenden Kassette und Orientierung der Abzüge beim Aufkleben

$a$  = Lage der Platte in der Kassette,  $b$  = Lage der Platte bei der Aufnahme des Negativs,  $c$  = richtige Lage des Abzuges bei umgekehrtem Bild (links) und bei aufrechtem Bild (rechts)

(Aus A. KÖHLER [8, Fig. 962, S. 1973])

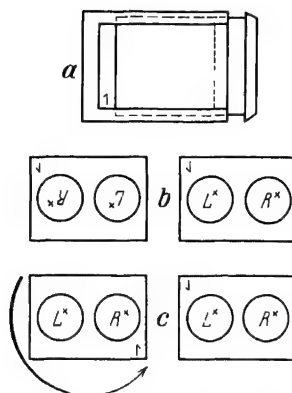


Abb. 173 Bezeichnung der Platte und Lage der beiden auf einer und derselben Platte aufgenommenen Halbbilder

$a$  = Lage der Platte in der Kassette,  $b$  = Lage der umgekehrten und der aufrechten Halbbilder bei der Aufnahme des Negativs,  $c$  = richtige Lage der positiven Abzüge bei umgekehrtem Bild (links) und bei aufrechtem Bild (rechts)

(Aus A. KÖHLER [8, Fig. 961, S. 1975])

Negative gemeinsam auf einer Platte aufgenommen hat, hat man natürlich nur eine Marke für beide Halbbilder (Abb. 173). Sind diese in umgekehrter Lage auf die Platte projiziert worden, so wird man den Abzug beider Bilder gemeinsam um  $180^\circ$  drehen müssen, falls man die Halbbilder mit einer Schiebekassette, nicht aber mit exzentrischen Einlegeblenden auf der Platte erhalten hat. Im letzteren Fall muß man den gemeinsamen Abzug zerschneiden, jedes Halbbild für sich um  $180^\circ$  drehen und dann beide wieder nebeneinander aufkleben. Die Entfernung, in welcher die Halbbilder nebeneinander aufgestellt bzw. aufgeklebt werden müssen, ermittelt man am besten so, daß man das Maß des schmalen Steges, der die zwei Halbbilder auf der Platte trennt, feststellt und die Abzüge dementsprechend nebeneinander klebt. Der Abzug der aufrechten stehenden Halbbilder wird in derselben Lage aufgeklebt, wie die Bilder auf dem Negativ standen (Marke am Negativ und auf dem Abzug an derselben Stelle).

Die Abzüge von Negativen, die man mit einer Zwillingskamera erzeugt hat, werden eigentlich erst dann die günstigste Raumwirkung hervorrufen, wenn man sie in einem Spiegelstereoskop (s. dieses Handbuch VI, Teil I) mit gekreuzten Bildebenen betrachtet. Namentlich die Aufnahmen mit einer DRÜNERschen Kamera

für stärkere Vergrößerungen (Vergrößerungsansatz mit Homal) wirken bedeutend besser in einem solchen Spiegelstereoskop als in dem gewöhnlichen Stereoskop, wo die Halbbilder in einer Ebene angeordnet sind. Daß auch bei den Aufnahmen mit einer Zwillingskamera die Negative und die Abzüge entsprechend bezeichnet werden müssen (z. B. mit I R und I L usw.), damit man die zusammengehörenden Halbbilder nicht verwechselt, braucht nicht eingehend erörtert zu werden.

Die Tabelle 25 soll einen zusammenfassenden Überblick von den verschiedenen Arten der stereo-mikrophotographischen Aufnahmen und ihren Indikationen bei verschiedenen Vergrößerungen wie auch bei verschiedenen Beleuchtungsverhältnissen bieten.

Tabelle 25 Mikrostereo-aufnahmen (Aus ZEISS-Druckschrift Mikio 386)

A Aufrechtes Bild			
a) Schwache Vergrößerung und gerades Licht		b) Starke Vergrößerung und schiefes Licht	
<i>a)</i> Gewöhnliche Kassette	<i>β)</i> Schiebekassette <sup>1</sup>	<i>a)</i> Gewöhnliche Kassette <sup>1</sup>	<i>β)</i> Schiebekassette <sup>1</sup>
Erste Aufnahme	Exzentrische Einlegeblende steht aufrecht	Die Zahl 1	Zentrische Einlegeblende
Das Bild durch Verschieben des Objektes in den Blendenausschnitt bringen			Platte nach links verschieben
Rechtes Halbnegativ aufrecht auf die linke Seite des Positivs kopieren	Platte nach rechts verschieben	Kondensorblende nach links verschieben	
Zweite Aufnahme	Exzentrische Einlegeblende steht aufrecht	Die Zahl 2	Zentrische Einlegeblende
Das Bild durch Verschieben des Objektes in den Blendenausschnitt bringen			Platte nach rechts verschieben
Linkes Halbnegativ aufrecht auf die rechte Seite des Positivs kopieren	Platte nach links verschieben	Kondensorblende nach rechts verschieben	
B Umgekehrtes Bild			
a) Schwache Vergrößerung und gerades Licht		b) Starke Vergrößerung und schiefes Licht	
<i>a)</i> Gewöhnliche Kassette	<i>β)</i> Schiebekassette <sup>1</sup>	<i>a)</i> Gewöhnliche Kassette <sup>1</sup>	<i>β)</i> Schiebekassette <sup>1</sup>
Erste Aufnahme	Exzentrische Einlegeblende steht umgekehrt	Die Zahl 1	Zentrische Einlegeblende
Das Bild durch Verschieben des Objekts in den Blendenausschnitt bringen			Platte nach rechts verschieben
Linkes Halbnegativ umgekehrt auf die linke Seite des Positivs kopieren	Platte nach links verschieben	Kondensorblende nach links verschieben	
Zweite Aufnahme	Exzentrische Einlegeblende steht umgekehrt	Die Zahl 2	Zentrische Einlegeblende
Das Bild durch Verschieben des Objekts in den Blendenausschnitt bringen			Platte nach links verschieben
Rechtes Halbnegativ umgekehrt auf die rechte Seite des Positivs kopieren	Platte nach rechts verschieben	Kondensorblende nach rechts verschieben	

<sup>1</sup> Die Aufnahmen können ohne weiteres unzerschnitten kopiert werden.

Daß das binokulare Sehen und der damit erhaltene stereoskopische Effekt für die subjektive Beobachtung wesentliche Vorteile bringt, wurde schon einleitend betont<sup>1</sup>. Wir müssen uns aber fragen, ob der Zweck, den man mit stereomikrophotographischen Aufnahmen verfolgt, zu dem großen Aufwand an Arbeit und Hilfsmitteln in einem angemessenen Verhältnis steht. Da wird man feststellen müssen, daß dies nur bei gewissen speziellen Objekten und Forschungsrichtungen der Fall ist. Es dürfte ohne weiteres verständlich sein, daß man von körperlichen Objekten, von solchen mit einem ausgesprochenen Oberflächenrelief oder von kapillarmikroskopischen Untersuchungen weit anschaulichere Vorführungsbilder erhalten wird mit der Stereo-Mikrophotographie als ohne diese. Bei Furchungsstadien, Embryonen, ganzen Pflanzen und Tieren bzw. einzelnen Organen derselben, die bei schwachen und schwachsten Vergrößerungen in auffallendem Licht abgebildet werden, erhält man aus einem stereoskopischen Bild weit bessere Vorstellungen als aus dem optischen Querschnitt, den man bei monokularer Betrachtung erhalten kann. Die im photographischen Bild sichtbaren Lichter und Schatten kommen erst bei stereoskopischer Betrachtung richtig zur Geltung als naturgegebene Erscheinungen an einem körperlichen Objekt. Anders steht es jedoch mit Objekten, die man bei stärkeren Vergrößerungen in durchfallendem Licht zu untersuchen pflegt, vor allem also bei Schnittpräparaten. Auch hier soll nicht bestritten werden, daß das Stereobild dem üblichen monokularen gegenüber manche Vorteile aufweisen wird (vgl. SKELL [2]), namentlich was die Klarheit und die Scharfe der Abbildung anbelangt. Man ist aber vielfach geneigt, die Stereobilder histologischer Präparate aus dem Grunde vorzuziehen, weil sie über die räumlichen Verhältnisse im Präparat angeblich bessere Auskunft liefern. Was diesen Punkt anbelangt, sei bemerkt, daß man in dicken Schnitten (von  $25\mu$ ,  $50\mu$  und noch dickeren) mit schwachen Objektiven tatsächlich bei der großen Fokustiefe des Objektivs gute und tiefenrichtige Vorstellungen von den räumlichen Verhältnissen im Präparat erhalten wird, wenn man Stereobilder von ihnen anfertigt. Davon wird ein jeder überzeugt, wenn er einen Schnitt von einer injizierten Niere oder einem GOLGI-Präparat erst monokular und dann stereoskopisch betrachtet. Bei starken Vergrößerungen wird jedoch der stereoskopische Effekt in dem Sinne nicht objektgetreu erscheinen können, da man in der Tiefe nicht dasselbe Vergrößerungsmaß erhält wie in den zwei anderen Achsen der optischen Ebene. Die Tiefenwirkung hängt hier hauptsächlich vom Konvergenzwinkel ab, unter welchem man die Halbbilder betrachtet. Ob Neurofibrillen tatsächlich auf der Oberfläche von Nervenzellen oder in der Randschicht dieser Zellen liegen, wird man auch mit stereo-mikrophotographischen Aufnahmen nicht sicherer entscheiden als mit einem gewöhnlichen Mikrophotogramm, obzwar im Stereobild die Nervenzellen sich vom Hintergrund recht plastisch abheben werden. Ebenso liegen die Verhältnisse bei allen ähnlichen feinhistologischen Strukturen. Die Auflösung der Struktur erfolgt nämlich stets nur zweidimensional und nicht dreidimensional, da das Auflösungsvermögen mit der Fokustiefe in umgekehrtem Verhältnis steht. Die räumlichen Entfernungen zwischen den Feinstrukturen werden daher trotz körperlichen Sehens nicht deutlicher als sie schon bei der Auflösung der Struktur in der monokularen Beobachtung waren. Daraus folgt, daß es sich kaum lohnen wird, Stereoaufnahmen bei starken Vergrößerungen,

<sup>1</sup> Von solchen Vorteilen abgesehen, bietet die Verwendung binokularer Tubusaufsätze auch in Form der sog. Brückenokulare einen wesentlichen Vorteil, nämlich den, daß man in demselben Sehfeld zwei Bilder nebeneinander betrachten kann, die von zwei Mikroskopen (d. h. zwei Objektiven) erzeugt wurden. Solche Vergleichsbilder hat F. TOBLER [1] photographisch abgebildet.

namentlich in durchfallendem Licht, von histologischen Schnittpräparaten anzufertigen. Auch dort, wo das Stereobild vom Objekt eine anschaulichere Vorstellung bieten mag als das monokulare (vgl. SKELL [2]), wird man stets bedenken müssen, daß man die Aufnahmen nur zu Vorführungen verwenden kann entweder mit Stereokopen oder mit der stereoskopischen Projektion<sup>1</sup>. Auch zu Reproduktionszwecken, wofür die überwiegende Mehrzahl der Mikrophotogramme hergestellt wird, kann man natürlich die stereoskopischen Aufnahmen benutzen, indem man das eine Halbbild verwendet. Ist aber die drucktechnische Wiedergabe der ausschließliche oder Hauptzweck der Aufnahme, so erreicht man ihn einfacher mit einer einzigen Aufnahme in der üblichen Weise. Bei der Entscheidung der Frage, ob man einfach oder stereoskopisch projizieren soll, sei daran erinnert, daß man sowohl bei der episkopischen wie noch mehr bei der diaskopischen Projektion von einem einzigen Bild schon plastische Wirkungen erhalten kann, wenn das Bild genügend scharf und kontrastreich ist, d. h. eine günstige Verteilung von Licht und Schatten zeigt, und die Linse des Projektionsapparats einwandfrei ist.

Aus diesen Gründen ist es auch erklärlich, daß die Verfahren der Stereomikrophotographie heute noch wenig verbreitet sind und bei einer Reihe von mikroskopischen Untersuchungen keine größere Bedeutung haben. Von besonderem Vorteil sind sie bei Lichtbildvorführungen histo-physiologischer und entwicklungsmechanischer Experimente. Einen Defekt- oder Transplantationsversuch an Amphibienkeimen, Regenerationsvorgänge an großen Protistenzellen oder an kleinen Wasseroorganismen, das Verhalten künstlich gereizter Blutkapillaren usw. werden z. B. unvergleichlich anschaulicher wirken mit der Stereoprojektion als ohne eine solche. Noch wichtiger ist es vielleicht, daß man mit Stereokameras auch dort Mikraufnahmen und sogar Momentaufnahmen von lebenden Objekten erhalten kann, wo die sonstigen mikrophotographischen Apparate versagen, nämlich bei Untersuchungen mit einem binokularen Präpariermikroskop. Hier bietet die DRÜNNERSche Kamera, die Mikrostereokamera oder die Aufsatzkamera Lukam die beste Möglichkeit, das subjektiv beobachtete Bild, ohne an der Einstellung etwas zu ändern, photographisch abzubilden, gleichgültig, ob man die Halbbilder zur drucktechnischen Wiedergabe oder zu einer Stereoprojektion benötigt. Denselben Vorteil hat man natürlich auch bei Untersuchungen mit einem binokularen Tubusaufsatz. Auch hier wird man, wie P. METZNER (4, S. 473) es gezeigt hat, mit einer Zwillingskamera das mikroskopische Halbbild von jedem Okular auffangen und weiter zur drucktechnischen Vervielfältigung oder zur stereoskopischen Projektion weiterver-

<sup>1</sup> Zur stereoskopischen Projektion benutzt man entweder das Verfahren von D. ALMIDA mit komplementär gefärbten Lichtfiltern oder dasjenige von ROLTMANN mit rot und grün gefärbten Diapositiven. Die mit zwei Projektionslinsen ausgerüsteten Projektionsapparate liefern dann zwei Halbbilder, die in komplementären Farben (Rot und Grün) erscheinen. Der Beobachter muß diese Halbbilder mit einer rot-grünen Brille betrachten und zwar so, daß das Brillenglas vor dem Auge die komplementäre Farbe zum Halbbild derselben Seite haben soll. Ist z. B. das linke Halbbild grün, so muß die Brille mit dem roten Glas vor das linke und mit dem grünen vor das rechte Auge gestellt werden (vgl. dieses Handbuch VII, S. 77).

Ein sehr bequemes, auf A. KOHLER zurückgehendes Verfahren ohne Stereokopie die Augenachsen gleichzurichten veröffentlichte M. VON ROHR (7, S. 240); es ist besonders für Kurzsichtige wohlgeegnet. Eine Schiebe gewöhnlichen Fensterglases wird unter etwa 45° Neigung so über das waagrecht liegende Stereogramm gehalten, daß ein entfernter Gegenstand an den unbelegten Flächen gespiegelt wird und unter der Ebene des Stereogramms erscheint. Fällt man dies meistens ziemlich lichtschwache Spiegelbild ins Auge, richtet indessen seine Aufmerksamkeit auf die beiden Halbbilder, auf die auch akkommodiert werden muß, so verschmelzen diese auch Ungeübten ziemlich leicht zu einem Sammelbilde.



können. Da die binokulare Beobachtung eine berechtigt rasche Verbreitung unter den Mikroskopikern erfahren hat, wird auch die Stereo-Mikrophotographie mit der Zwillingskamera eine allgemeinere Verwendung finden, selbst dort, wo man keinen besonderen Wert auf eine nachträgliche stereoskopische Betrachtung legt.

## VI. Die Aufnahmen im polarisierten Licht.

(Vgl. zusammenfassende Darstellungen über Polarisationsmikroskopie bei AMBRONN und FREY [1], A. KÖHLER [7, 8], J. KÖNIGSBERGER [1], LEISS und SCHNEIDERHOHN [1], W. J. SCHMIDT [1, 5].)

**118. Allgemeines über das polarisierte Licht.** Polarisiertes Licht entsteht fast in allen Fällen, wo die Lichtfortpflanzung eine Änderung erfährt. Die Lichtschwingungen erfolgen dann nicht mehr nach allen Richtungen, sondern nur in einer Ebene, der sog. Schwingungsebene (Abb. 174). Die Lichtenergie wird in zwei Anteile, in ordentliche und außerordentliche Strahlen, zerlegt, und zwar entsteht bei der Brechung und Reflexion an einfach brechenden Stoffen

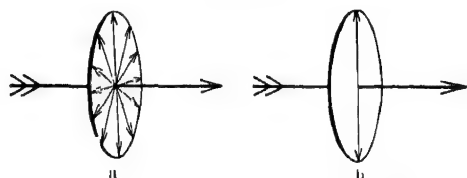


Abb. 174. Schematische Darstellung des gewöhnlichen (a) und des linear polarisierten (b) Lichtes.  
Großer Pfeil: Fortpflanzungsrichtung.  
Kleinere Pfeile: Schwingungsrichtungen.  
(Aus W. J. SCHMIDT [5, Abb. 277, S. 381].)

polarisiertes Licht, dessen Schwingungsebenen zu Einfallsebene parallel oder senkrecht, zu einander also senkrecht gestellt sind. Beide Strahlen sind „ordentliche“, insofern sie das SNELLIUSsche Brechungsgesetz befolgen. Bei einachsigen doppelbrechenden Körpern wird das Licht in einen ordentlichen und einen außerordentlichen Strahl zerlegt, während bei doppelbrechenden zweiaxigen

Kristallen beide Strahlen „außerordentliche“ sind, welche im allgemeinen das SNELLIUSsche Gesetz nicht befolgen. Fangt man das aus dem Medium austretende Licht auf, so erhält man zwei Lichtwirkungen an zwei verschiedenen Stellen, d. h. zwei Abbildungen von dem Ding, in welchem der Lichtstrahl in seine zwei Anteile polarisiert wurde. Solche Dinge nennt man anisotrop oder doppelbrechend.

Man erhält polarisiertes Licht sowohl durch Brechung als auch durch Spiegelung. Die Stärke der Polarisation hängt von der Größe des Einfallswinkels bzw. des Brechungswinkels ab. Bei der Lichtbrechung der nicht doppelbrechenden (isotropen) Objekte ist der Lichtanteil, welcher polarisiert wird, im Vergleich zum nicht polarisierten so gering, daß man ihn ohne besondere Kunstgriffe nicht wahrnehmen kann. Starker tritt die Polarisation des Lichts bei der Reflexion an spiegelnden Flächen auf, vorausgesetzt, daß die Spiegel nicht aus Metall bestehen. Liegen die spiegelnden Flächen übereinander geschichtet, so erhält man starker polarisiertes Licht mit größerer Helligkeit. Man kann daher zu polaroskopischen Untersuchungen das polarisierte Licht in einfachster Weise durch Reflexion an einem Satz von Glasplatten (z. B. gereinigten photographischen Platten) erzeugen. Auch durch Beugung an Gitterstrukturen kann Lichtpolarisation entstehen, wie das z. B. bei der sog. Stabchendoppelbrechung der Fall ist.

Die optischen Firmen liefern zu polaroskopischen Einrichtungen schon Glasplattensätze in geeigneter Form und Zusammenstellung, mit denen man in das Mikroskop polarisiertes Licht reflektieren kann. Bei Verwendung der Glasplattensätze wird der Mikroskopspiegel natürlich nicht benutzt. Der Vorteil solcher Glasplattensätze den Polarisationsprismen gegenüber ist, daß sie die Apertur der Beleuchtung nicht einschränken (s. S. 284), die Helligkeit des von ihnen gespendeten Lichts ist jedoch geringer als die des durch Prismen polarisierten

Lichts P METZNER (1) beschreibt eine improvisierte polaroskopische Einrichtung, wo das polarisierte Licht von einem Glasplattensatz in das Mikroskop geworfen und das Bild durch einen zweiten Glasplattensatz (aus Deckglaschen im Okular aufgestellt) betrachtet wird. Die beiden wesentlichen Bestandteile einer polaroskopischen Einrichtung der Polarisator und der Analysator (s. weiter unten), werden also hier aus Glasplattensätzen hergestellt.

**119. Die Nikols.** Die meist angewandte und wohl auch sicherste Art, polarisiertes Licht von beträchtlicher Intensität herzustellen, ist die Polarisierung des Lichts mit den Nikols (Abb 175). Zu polaroskopischen Untersuchungen benutzt man meistens zwei Prismen aus doppelbrechenden Kristallen, in der Regel aus vierseitigen Kalkspatprismen<sup>1</sup>, welche in der Diagonale des Prismas in zwei dreiseitige Hälften zerschnitten und mit den polierten Schnittflächen durch Kanadabalsam wieder zusammengeklebt werden. Solche Kalkspatprismen haben eine langliche Gestalt, indem sie etwa dreimal so lang als breit sind. Ihre Endflächen sind an den Schmalseiten etwas schrag gestellt. Die beiden Langsseiten werden mit schwarzem Lack überzogen und gewöhnlich in eine Metallhülse gefaßt. Wie aus der Abb 175 ersichtlich, wird das natürliche Licht, welches auf eine der Endflächen fällt, in einen ordentlichen und einen außerordentlichen Strahl zerlegt, von denen der ordentliche an der Kittstelle des Prismas, d. h. an der Grenzfläche zwischen Kalkspat und Kanadabalsam, total reflektiert und von den geschwarzten Seitenwänden verschluckt wird, während der außerordentliche Strahl, der unter einem geringeren Winkel gebrochen wird (der Kalkspat ist negativ doppelbrechend) die Kittschicht unverändert durchdringt und mit einer geringen parallelen Verschiebung als linear polarisiertes Licht am oberen Prismenende heraustritt.

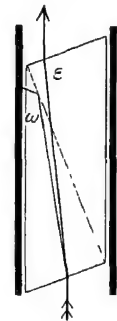


Abb 175  
Durchschnitt eines  
Nikols

$\epsilon$  durchgelassener außerordentlicher  $\omega$  = reflektierter und absorbierter ordentlicher Strahl (Ans. W. J. SCHMIDT (2), Abb 290, S. 380)

Die als Nikols bekannten Polarisationsprismen aus Kalkspatkristallen wurden zuerst von NICOL benutzt. mit der Zeit hat man alle nach der Art der NICOLSchen Prismen geschaffenen Polarisationsprismen als Nikols bezeichnet, selbst solche, welche in ihrer Form oder Konstruktion von den ursprünglichen NICOLSchen Prismen mehr oder weniger abweichen. So werden außer den eigentlichen NICOLSchen Prismen (mit schrägen Endflächen und langlicher Gestalt) oft auch Polarisationsprismen nach FOUCAULT und GLAN (GLAN-THOMPSON) oder nach AHRENS benutzt. Beide Konstruktionen haben vor den NICOLSchen Prismen den Vorteil, daß sie kleiner bzw. kürzer sind und senkrecht zur Achse des Prismas gerichtete Endflächen haben, was namentlich die Unterbringung des Nikols am Polarisationsmikroskop erleichtert. Beim FOUCAULT-GLANSchen Prisma sind die Prismenhälften ohne Kanadabalsam miteinander veremigt, so daß eine dünne Luftschicht sich zwischen den polierten Schnittflächen befindet. Diese Prismenkombination liefert jedoch ein geringeres Gesichtsfeld als die Nikols. Ein größeres Gesichtsfeld erhält man mit den AHRENSschen Prismen oder mit den nach ähnlichen Prinzipien gebauten Prismen von GROSSE, die aus einem einheitlichen mittleren Prisma und zwei seitlichen Halbprismen zusammengesetzt sind, so daß man eine V-förmige Kittfläche erhält. Zwischen den Schnittflächen der Prismenbestandteile kann entweder Kanadabalsam oder Luft sein. Diese eigenartige Zusammensetzung wirkt jedoch,

<sup>1</sup> Zu speziellen Zwecken können die Polarisatoren auch aus Bergkristall oder aus Turmalin hergestellt werden.

wenn man solche Prismen als Analysatoren benutzt, auf die Gute der mikroskopischen Abbildung ungünstig

Die Schwingungsebene des so erhaltenen polarisierten Lichts bezeichnet man als die Schwingungsebene des Nikols. An den meisten Nicol'schen Prismen ist die Schwingungsebene auf der Fassung schon gekennzeichnet, bei anderen nicht, bei manchen wiederum ist nicht die Schwingungsebene, sondern die dazu senkrechte Polarisationssebene angezeigt. Da man bei allen polaroskopischen Untersuchungen die Schwingungsebene des Nikols kennen muß, bestimmt man sie dort, wo sie nicht an der Fassung gekennzeichnet ist, in folgender Weise. Man betrachtet eine horizontal liegende spiegelnde Fläche (Glasplattensatz, Tischplatte usw.) mit einem Nicol, den man vor das Auge hält und etwa unter  $30^\circ$  auf die horizontale Fläche richtet. Beim Drehen des Nikols wird das von der spiegelnden Fläche reflektierte und polarisierte Licht bald in das Auge durchgelassen, bald ausgelöscht, je nachdem, ob die Schwingungsebene des polarisierten Lichts mit der Schwingungsebene des Nikols übereinstimmt oder nicht. Stehen die Schwingungsebenen senkrecht zueinander, so erscheint die spiegelnde Fläche dunkel, im umgekehrten Fall aber hell. Bei der Dunkelstellung wird die Schwingungsebene des Nikols vor dem Auge vertikal liegen und kann dementsprechend an der Fassung bezeichnet werden.

**120. Der Polarisator und der Analysator.** Ähnlich wie bei der Betrachtung einer spiegelnden Fläche durch einen Nicol liegen die Dinge, wenn man das von einem Nicol durchgelassene polarisierte Licht mit einem zweiten Nicol'schen Prisma betrachtet. Stehen die Schwingungsebenen der Nikols parallel zueinander, so wird Licht in das Auge gelangen, und man empfindet Helligkeit; sind jedoch die Schwingungsebenen senkrecht zueinander gestellt (gekreuzte Nikols), so kann kein Licht in das Auge des Beobachters gelangen (Dunkelstellung, Ausloschstellung). Bei dieser Stellung kann Licht durch das Prismensystem nur dann in das Auge des Beobachters gelangen, wenn zwischen den gekreuzten Nikols in einer bestimmten Lage ein doppelbrechendes (anotropes) Objekt sich befindet (s. Zusammenfassende Darstellungen). Zu polaroskopischen Untersuchungen werden also meistens zwei Nikols benutzt. Von den zwei Nicol'schen Prismen heißt das eine, welches unterhalb des Objekts (oder vor dem Objekt steht), der Polarisator, das andere, das oberhalb des Objekts (oder hinter dem Objekt) sich befindet, der Analysator. Der Polarisator ist also das Prisma, welches das polarisierte Licht zur Beleuchtung des Objekts liefert, der Analysator aber dasjenige, durch welches man das Objekt betrachtet.

Je nach der Lage der beiden senkrecht zueinanderliegenden Schwingungsebenen eines doppelbrechenden Objekts — der Achsen der Indexellipse — treten im allgemeinen zwei senkrecht polarisierte Strahlen durch das Objekt hindurch. Das Auge vermag jedoch an diesem Licht erst dann Unterschiede gegenüber dem einfallenden oder dem natürlichen Licht wahrzunehmen, wenn der Beobachter dieses Licht durch den Analysator in sein Auge fallen läßt. Diese Unterschiede sind dann durch den Polarisationszustand bedingt. Einfach zu erklären ist nur der Fall, wo das einfallende Licht, das linear polarisiert in das Objekt einfällt, auch linear polarisiert bleibt, und höchstens die Lage der Schwingungsebene sich geändert hat. Dann kann man solches Licht stets durch Drehen des Analysators auslöschen; man weiß dann, daß seine Schwingungsebene senkrecht zu der des Analysators ist. Das ist ein Verfahren, das man nur bei der Untersuchung drehender, optisch aktiver Substanzen anwendet. Läßt man aber den Analysator in der gekreuzten Stellung, wie das bei der Mehrzahl der hier in Frage kommenden Untersuchungen der Fall ist, dann ist ohne weiteres nur einzusehen, daß das Objekt dunkel, wie das freie Schfeld oder ein

isotropes Objekt erscheint, wenn das vom Polarisator kommende Licht unverändert hindurchtritt, d. h. linear polarisiert bleibt, und wenn auch die Lage der Schwingungsebene unverändert bleibt. Das ist dann der Fall, wenn eine der beiden Schwingungsebenen des Objekts parallel zur Schwingungsebene des Polarisators gerichtet ist. Das sind die beiden Auslöschungslagen, bei welchen kein Licht durch das Objekt hindurch in das Auge gelangt. In allen anderen Lagen treten zwei Schwingungen durch das Objekt hindurch, welche infolge der verschiedenen starken Brechung in den verschiedenen Schwingungsebenen des Objekts mit verschiedenen Phasen oder Gangunterschieden in die Bildebene des abbildenden Systems gelangen. Da beide Schwingungen oder Lichtanteile kohärente Strahlen sind, erzeugen sie in der Bildebene Lichtinterferenzen, welche die charakteristische Helligkeits- oder Farbenunterschiede im polarisationsmikroskopischen Bild hervorrufen.

Wie im einzelnen die Gangunterschiede im Interferenzbild je nach der Stärke der Doppelbrechung oder der Dicke der doppelbrechenden Schicht charakteristische Maxima und Minima (bei monochromatischem Licht) oder Polarisationsfarben (bei weißem Licht) erzeugen, gehört nicht mehr in den Rahmen dieser kurzen Zusammenfassung, ebenso müssen wir hier von einer eingehenderen Beschreibung der Verfahren absehen, mit denen man die Brechbarkeit und Absorption der beiden linear polarisierten Lichtanteile mit einem Nikol, dem Polarisator, bestimmt oder aber die Lage der Indexellipse, die Stärke der Doppelbrechung und den positiven oder negativen Charakter der Anisotropie mit zwei gekreuzten Nikols, dem Polarisator und dem Analysator, feststellt. Forscher, die ihre polaroskopischen Untersuchungsergebnisse mikrophotographisch abbilden wollen, sind über die optischen Gesetze der Bildentstehung im polarisierten Licht genau orientiert und wissen bereits, was sie im mikrophotographischen Bild anschaulich darstellen wollen und wie sie dazu das Objekt am besten einstellen und beleuchten müssen. Denjenigen aber, die sich mit der Methodik der Polarskopie und speziell mit der Polarisationsmikroskopie eingehender befassen wollen, sei das Studium der einschlägigen Literatur empfohlen (s. Zusammenfassende Darstellungen, ferner W. J. SCHMIDT [3, 4]).

**121 Das Polarisationsmikroskop** Zum Verständnis der mikrophotographischen Einrichtung, wie man sie zu einer polaroskopischen Aufnahme benötigt, sind allgemeine Kenntnisse über die theoretischen Grundlagen der Methodik schon deshalb unentbehrlich, weil man sonst das Polarisationsmikroskop nicht richtig beleuchten und die Forderungen, welche die Eigenart des mikroskopisch-optischen Systems der photographischen Einrichtung gegenüber stellt, nicht genügend berücksichtigen konnte. Man kann im allgemeinen mit jedem Mikroskopstativ mit kleinen und mit großen, polarisationsmikroskopische Untersuchungen ausführen, sobald man dafür gesorgt hat, daß der Beleuchtungsapparat polarisiertes Licht liefert, und daß — in der Regel — zwischen dem Objekt und dem Beobachter ein Analysator in den mikroskopischen Strahlengang eingeschaltet wird. Das erzeugte Bild wirkt jedoch um so besser, je besser das abbildende und beleuchtende optische System des Mikroskops der Eigenart des Strahlengangs zwischen den zwei Nikols angepaßt ist. Die Durchführung von verschiedenen Untersuchungen zur Bestimmung der optischen Eigenschaften doppelbrechender Objekte erfolgt daher um so bequemer und liefert um so genauere Angaben, je mehr die Forderungen der Polarskopie in der Konstruktion des Mikroskopstativs berücksichtigt wurden. Am besten eignen sich aus diesem Grund zu Untersuchungen und zu mikrophotographischen Aufnahmen in polarisiertem Licht die eigens dafür konstruierten Polarisationsmikroskope (vgl. W. J. SCHMIDT [2]).

Als Beispiel eines solchen sei hier das große Polarisationsmikroskop der Firma LEITZ angeführt (Abb 176 und 177). Das Stativ ist sowohl für monokulare wie für binokulare Beobachtungen geeignet, und zwar kann man mono-

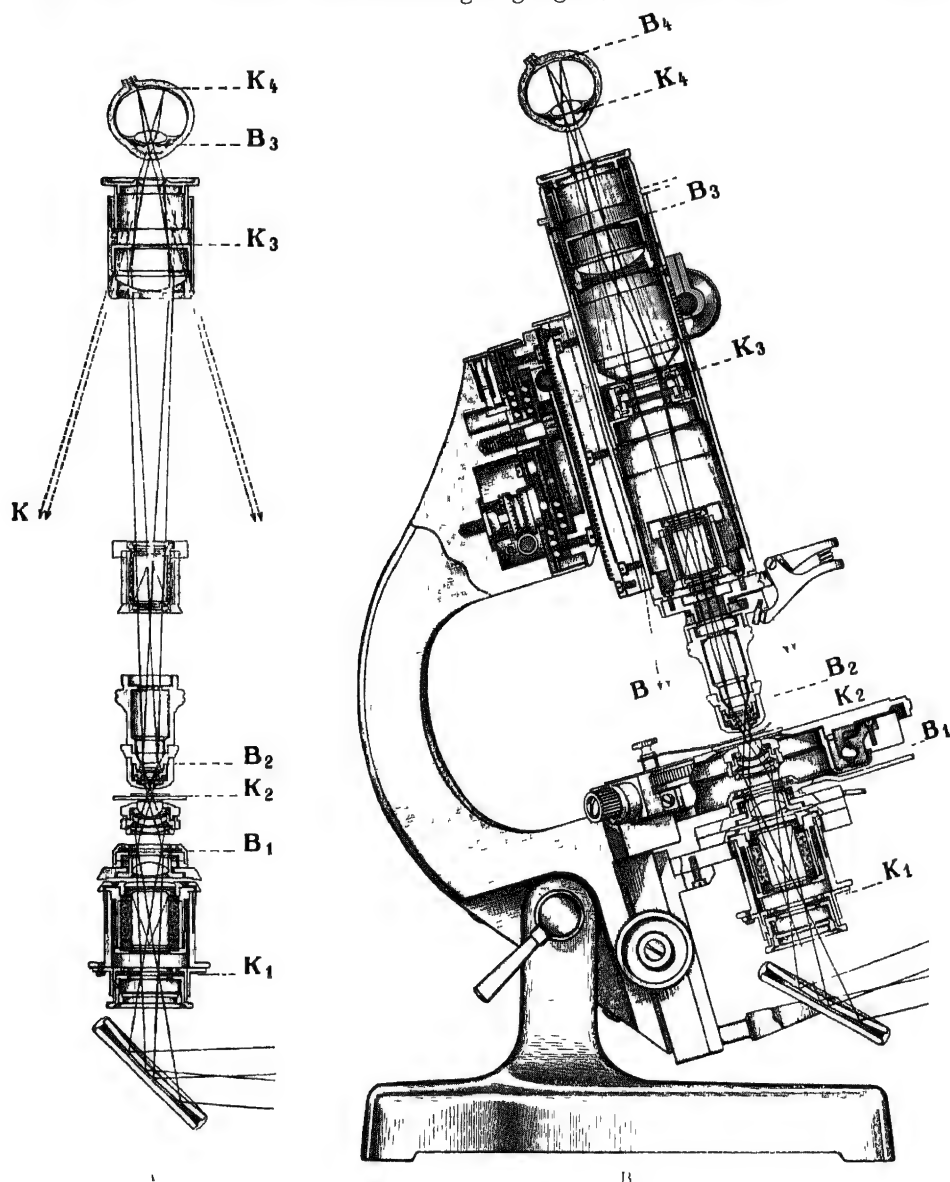


Abb 176 Strahlengang im Polarisationsmikroskop

A Orthoskopischer, B konoskopischer Strahlengang. In den Ebenen K liegt das Bild des Kristalls, in den Ebenen B liegt das Achsenbild. (Aus LEITZ Druckschrift "Liste d'P.P.")

und binokular ebenso gut in natürlichem wie in polarisiertem Licht das Stativ benutzen. Der Polarisator ist unter dem zentrierbaren Abbeschen Kondensor untergebracht und mit dem Kondensor durch ein Scharniergelenk verbunden. Will man in natürlichem Licht einstellen (was namentlich beim Aufsuchen der

zu polarisationskopischen Beobachtungen geeigneten Stellen sehr vorteilhaft ist, da es die Orientierung im Präparat erleichtert), so klappt man den Polarisator im Scharniergelenk aus. Der Analysator (ein GLAN-THOMPSONSches Prisma) liegt oberhalb der Objektivlinse im Tubus dünnen und kann mit einem Schieber aus- und eingeschaltet werden. Da solche dicken Kalkspatprismen, wie der Analysator, den Strahlengang im Tubus ungünstig beeinflussen und eine Fokussdifferenz der bilderzeugenden Strahlen hervorrufen (Astigmatismus), wurde der Analysator mit einem Linsensystem ausgerüstet, das die Fokussdifferenz ausgleicht (anastigmatischer Tubusanalysator). Der Mikroskoptisch ist drehbar und zentrierbar und zur Feststellung der jeweiligen Lage des Objekts mit einer Gradeinteilung und Nonius versehen. Am Tubus zwischen Objektiv und Tubusanalysator befindet sich noch ein seitlicher Schlitz, worin man die sog. Kompensatoren (Plättchen oder Keile aus stark doppelbrechenden Substanzen, z. B. Gips, Glimmer, Quarz oder Kalkspat) mit einem Schieber einführt. An dieser Stelle können wir uns nicht eingehender mit der Bedeutung der Kompensatoren und den Indikationen ihrer Anwendung befassen, die Interessenten müssen die einschlägige Literatur zu Rate ziehen. Da aber die Kompensatoren, wie schon erwähnt, wesentliche Bestandteile der polarisationsmikroskopischen Einrichtung darstellen, muß dafür gesorgt werden, daß man sie in den mikroskopischen Strahlengang an der richtigen Stelle und in richtiger Weise einschalten kann. Was die Lage der Kompensatoren am Mikroskopstativ anbelangt, gibt es drei Möglichkeiten; entweder bringt man sie zwischen dem

Abbildung 177  
Grosses Polarisationsmikroskop Stativ C.M. der  
Firma I. EITZ & Co. (aus EITZ-Druckschrift Liste 51 Teil)

Polarisator und dem Kondensor an oder zwischen Analysator und Augenlinse oder schließlich zwischen dem Objektiv und dem Analysator. Diese letzte erwähnte Lösung findet man an den Polarisationsmikroskopen mit einem Tubusschlitz. Die Lage des Kompensators im Strahlengang, ob vor oder hinter dem Objekt, hat keine grundsätzliche Bedeutung. Um so wichtiger ist es aber, die Kompensatoren in einer genau definierten Richtung zu orientieren, während man sie in eine dafür angefertigte Pflanne oder mit dem Schieber in den Tubusschlitz einsetzt. In der Regel liegen sie so, daß die große Achse ihrer Indexellipse, d. h. die Schwingungsrichtung des starker gebrochenen Strahls, in einer von unten links nach oben rechts verlaufenden Diagonale

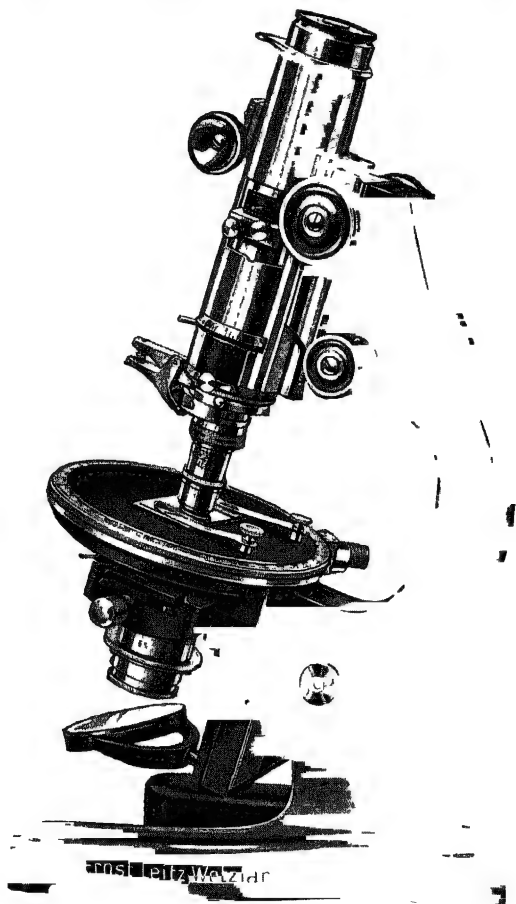


Abb. 177 Grobes Polarisationsmikroskop Stativ (M der Firma L. Lutz (Aus LUTZ-Druckschrift Liste 51 Pol.)

und  $45^\circ$  geneigt zur Schwingungsrichtung des Analysators liegt. Die große Achse der Indexellipse ist bei den Kompensatoren stets gekennzeichnet durch einen Pfeil oder Strich. Ist der Kompensator drehbar (Pfanne), so kann er

dadurch ausgeschaltet werden, daß man die bezeichnete Achse der Schwingungsebene des Analysators oder Polarisators genau parallel stellt oder dadurch, daß man ihn herausnimmt. Ist der Kompensator fest, nicht drehbar unter  $45^\circ$  in einen Schieber eingelegt, so kann er nur durch Herausziehen des Schiebers ausgeschaltet werden.

Einen ähnlichen, zum Teil noch komplizierteren Bau weisen die mineralogischen Mikroskope (Abb 178) auf, bei deren Konstruktion die speziellen Forderungen der Polarskopie weitgehende Berücksichtigung finden.

**122. Verschiedene Formen des Polarisators und des Analysators.** Man kann aber auch jedes größere Stativ, das man sonst zu Beobachtungen in natürlichem Licht zu verwenden pflegt, mit einem Polarisator, einem Analysator und, falls die Art der Untersuchung es erfordert, einem Kompensator ausstatten und so für die polaroskopischen Untersuchungen oder Aufnahmen an-

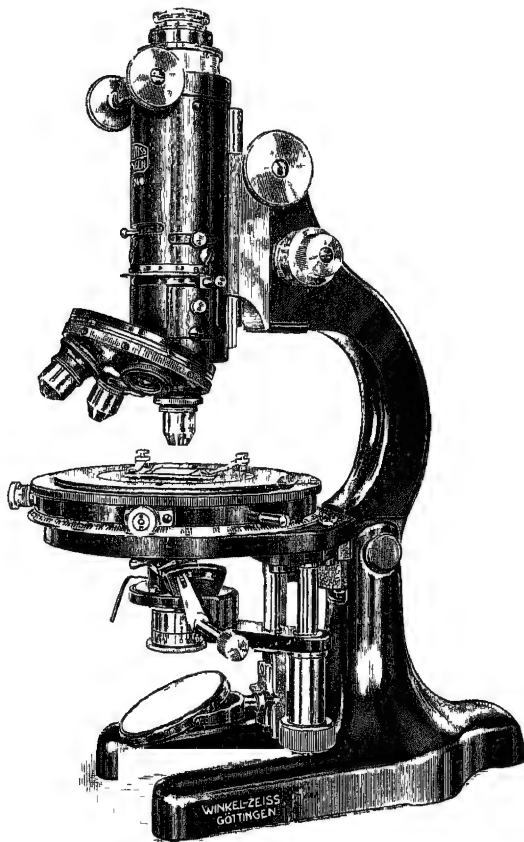


Abb 178 Großes mineralogisches Arbeitsstativ der Firma R. WINKEL

zupassen. Der Mikroskoptisch braucht nicht zentrierbar zu sein, es ist jedoch vorteilhaft, wenn die Tischplatte eine Drehung des Objekts in der Horizontalebene gestattet und der Grad dieser Drehung auf einer Gradteilung abzulesen sei.

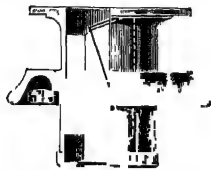


Abb 179 Polarisator mit Pfanne und Deckel zum Einlegen in den Diaphragmaträger (aus ZEISS Druckschrift Mikr. 400)

Die optischen Firmen liefern geeignete Zusammenstellungen aus Polarisationsprismen und Kompensatoren (meistens Gipsplättchen mit Pfannen) als polarisationsmikroskopische Ausrüstung zu den üblichen Mikroskopstativen.

In seiner einfachsten Form besteht der Polarisator aus einem NICOLSchen Prisma in einem Rohstutzen (Abb 179). Das obere Ende des Rohstutzens ist tellerartig geteilt, um den Kompensator mit der Pfanne bequem auflegen zu können. Ein solcher Polarisator wird einfach in den

Blendenträger oder in die geöffnete Tisblende des Beleuchtungsapparats eingehängt und dann mit einer von unten gegen den Blendenträger aufgeschraubten Mutter festgehalten.

Benutzt man einen Polarisator, der in den Beleuchtungsapparat gut hineinpaßt, so wird dieser einen verhältnismaßig kleinen Querschnitt haben und daher auch eine kleine Apertur. Er wird auf die Apertur des Kondensors wie eine Irisblende mit zu kleiner Öffnung wirken. Diesem Nachteil kann man in zweierlei Weise begegnen, indem man entweder ein großes NICOLSches Prisma vor dem Mikroskop aufstellt (Abb 180) oder aber das Prisma in einen besonderen zweiteiligen Kondensor mit verhältnismaßig kleiner Brennweite einbaut (Abb 181). Solche Polarisationskondensoren zeichnen sich besonders durch einen genau zentrierten Strahlengang aus, im Gegensatz zu einem in den Beleuchtungsapparat eingehangten Polarisator. Ist das mit dem Polarisationskondensor erzielte Leuchtfeld wegen der kleinen Brennweite zu klein, wie es bei Untersuchungen mit schwachen Objektiven meistens der Fall ist, so schraubt man die Frontlinse ab und erhält dadurch ein größeres Gesichtsfeld, aber eine kleinere Apertur. Der Polarisationskondensor enthält oberhalb des Polarisators auch die Irisblende, so daß die Regelung der Blendenöffnung in bequemster Weise geschehen kann.

Bei der üblichen Form der Mikroskopstativie pflegt man im Gegensatz zu den Polarisationsmikroskopen, wo ein Tubusanalysator vorhanden ist (s. S. 279), den Analysator oberhalb des Okulars anzubringen (Abb 182). Im einfachsten Fall setzt man den Analysator, der in ein Röhrchen gefaßt ist, in eine breitere Schiebhülse und stellt ihn mit dieser unmittelbar auf das Okular (einfacher Aufsatzanalysator, Analysator mit Aufsatzkappe). Von großem Vorteil ist es, wenn die Schiebhülse, in welche der Analysator eingesetzt wird, mit einem Mutterstück auf den Rand der Okularfassung festklemmbar ist und einen Teilkreis aufweist, auf dem man die Schwingungsrichtung bei der jeweiligen Stellung des Analysators ablesen kann (Aufklemmkappe mit Teilkreis). Unentbehrlich ist ein solcher Teilkreis am Analysator, wenn man die Drehung der Polarisationssebene im Präparat durch Drehung des Analysators messen will. Auch dort, wo man das mikroskopische Bild nacheinander ohne Analysator und dann bei gekreuzten Nicols betrachten will, ist es viel leichter, den Analysator wieder genau in seiner früheren Stellung aufzusetzen, wenn er mit einer Aufklemmkappe und Teilkreis versehen ist. Ein rasches Wechseln erreicht man auch mit einem ein- und ausklappbaren Aufsatzanalysator, wo das Prisma genau justiert von einem Gelenkarm getragen wird und dem Okular nicht unmittelbar aufliegt (Abb 183).



Abb 180  
Großer Polarisator  
auf Reiter  
(Aus ZEISS-Druckschrift Mikro 401)

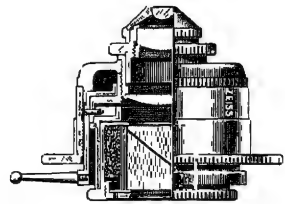


Abb 181 Polarisationskondensor  
der Firma C. ZEISS mit Irisblende  
und abziehbare Frontlinse

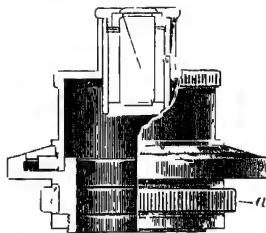


Abb 182 Analysator mit Teil-  
kreis  
a - Ring zum Aufklemmen  
(Aus ZEISS-Druckschrift  
Mikro 100)

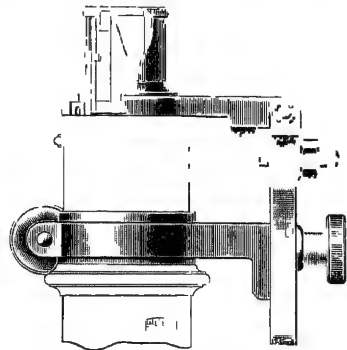


Abb 183 Ein- und ausklappbarer  
Analysator der Firma C. ZEISS



Alle Aufsatzanalysatoren haben den Nachteil, daß sie das Sehfeld einschränken, namentlich wenn man Okulare mit einem großen angularen Sehfeld benutzt. Bei Okularen mit einem kleinen Sehfeld merkt man dagegen diesen Nachteil nicht. In der Mikrophotographie wählt man also in der Regel schwache Okulare mit einem kleinen Sehfeld zu Aufnahmen mit einem Aufsatzanalysator und stellt die gewünschte Bildvergrößerung durch einen längeren Kameraauszug her. Bei Tubusanalysatoren, die also nicht oberhalb, sondern unterhalb des Okulars liegen, merkt man natürlich nie, selbst bei Okularen mit großem Sehfeld, eine Abblendung des Sehfelds. Deshalb bevorzugt man zu Untersuchungen mit starken und stärksten Vergrößerungen die Tubusanalysatoren, obzwar diese (soweit sie nicht anastigmatisch sind) für die mikroskopische Abbildung ungünstiger sind (s. S. 279) als die Aufsatzanalysatoren. Bei Stativen, die keinen Tubusanalysator haben, kann man für Untersuchungen mit starken Objektiven statt eines Aufsatzanalysators einen sog. Innennikol benutzen, der dieselben Dienste leistet wie ein Tubusanalysator (Abb. 184). Das Analysatorprisma ist hier in ein drehbares Zwischenstück eingefast, das

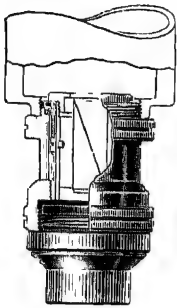


Abb. 184. Analysator VI (Innennikol) in Zwischenstück.  
(Aus ZEISS Druckschrift Mikro 401)

man auf das Gewinde am unteren Ende des Tubus schraubt. Das untere Ende des Zwischenstücks ist seinerseits mit einem Gewinde zum Anschrauben der Objektive versehen. So liegt der Analysator im Zwischenstück oberhalb des Objektivs und in nächster Nähe zu diesem, was für die Abbildung von wesentlichem Vorteil ist. Durch Drehung des Zwischenstücks (wobei auch das Objektiv mitgedreht wird) stellt man die Schwingungsebene des Analysators in die gewünschte, parallele oder gekreuzte, Stellung zum Polarisator.

Enthält das Zwischenstück außer des Innennikols auch noch eine Korrektionslinse, welche den Strahlengang des Objektivs auf eine unendlich ferne Bildebene korrigiert (statt auf 160 mm Tubuslänge), so hat man dem Astigmatismus vorgebeugt, der beim Innennikol ebenso aufzutreten pflegt wie bei den Tubusanalysatoren, falls diese nicht, wie z. B. der anastigmatische Tubusnikol der Firma E. LEITZ, schon auf den Astigmatismus korrigiert sind. Wird nun das durch den Innennikol ins Unendliche entworfene Bild mit einem Fernrohr oder Hilfsmikroskop betrachtet, so erhält man ein astigmatismustreies Zwischenbild in der Sehfeldblende des Okulars. Der Tubus der Polarisationsmikroskope und mineralogischen Stativen ist von vornherein so gebaut, daß man den Tubusanalysator in Verbindung mit einem solchen bei unendlich gestelltem Fernrohr benutzt.

Im Innern des Tubus wird zur Beobachtung von Achsenbildern (s. S. 287) auch die ein- und ausschaltbare AMICI-BERTRAND-Linse untergebracht. Ein Hilfsobjektiv von langer Brennweite (30 mm), die man meistens mit einem Triebwerk, das oben vorn an dem nicht ausziehbaren Tubus liegt, auf die Austrittspupille des Mikroskopobjektivs stellt und das so entstandene Bild dann am Tubusende beobachtet. Auch die üblichen Mikroskopstativen lassen sich mit einer AMICI-BERTRAND-Linse ausstatten. Man schraubt das Hilfsobjektiv mit langer Brennweite (z. B. ZEISS-Obj. 3fach) auf das untere Ende des Auszugsrohrs und stellt die Linse durch Ausziehen oder Einschieben des Innentubus auf die Austrittspupille des Objektivs ein.

**123 Die Einstellung des polaroskopischen Bildes.** Die Einstellung des Analysators zum Polarisator bei Untersuchungen mit gekreuzten Nikols erfolgt folgendermaßen. Man entfernt zunächst die ganze optische Ausrüstung vom Stativ (Okular, Objektiv und Kondensor) und setzt den Polarisator in den Blenden-

trager ein. Beim Einsetzen des Polarisators achte man darauf, daß die Markierungslinie an seiner Fassung, welche die Richtung der Schwingungsebene anzeigt, möglichst parallel mit der Achse des Kondensortriebs liegen soll. Damit hat man die Schwingungsebene des polarisierten Lichts, mit dem das Objekt beleuchtet wird, ein für allemal festgesetzt. Dann setzt man den Analysator auf und dreht ihn so, daß das helle Sehfeld vollkommen verdunkelt wird. Es ist dabei zweckmäßig, für die letzte Korrektur der Einstellung sehr helles Licht zu verwenden. Bei der Stellung, wo die maximale Dunkelheit auftritt, sind die Nikols richtig gekreuzt. Da auch der Analysator an seiner Fassung mit einer Markierungslinie versehen ist, kann man die Schwingungsebene des Analysators schon im voraus schätzungsweise quer zur Schwingungsebene des Polarisators stellen. Hat man aber einen Aufsatzanalysator mit Teilkreis, so kann man die Schwingungsebene der Polarisationsprismen noch bequemer und genauer kreuzen, indem man zuerst die Schwingungsebene des Analysators so einstellt, daß sie quer auf die Symmetrieebene des Mikroskops von rechts nach links, d. h. parallel mit dem Durchmesser der Kreisteilung, zwischen  $90^\circ$  und  $270^\circ$  liegen soll. Da die Schwingungsebene des Analysators auf diese Weise sehr genau definiert ist, stellt man diejenige des Polarisators — umgekehrt wie im früher geschilderten Fall — zu dem Analysator ein. Bei mineralogischen und polarisationsmikroskopischen Stativen ist die Stellung des Analysators zum Polarisator ein für allemal durch die Richtung des Tubusschlitzes festgelegt.

Von großem Nutzen ist es, wenn man bei der Beobachtung des mikroskopischen Bildes im polarisierten Licht die Schwingungsebenen der gekreuzten Nikols ständig vor Augen hat. Sehr bequem erreicht man das mit einem Fadenkreuzokular<sup>1</sup>. Das Okular setzt man in den Tubus so ein, daß der eine Faden genau in der Sagittallrichtung (in der Symmetrieebene des Mikroskops), der andere senkrecht dazu liegt. Sind die Polarisationsprismen richtig gekreuzt, so wird die Schwingungsebene des Polarisators mit dem Faden in sagittaler, die Schwingungsebene des Analysators aber mit jenem in transversaler Richtung zusammenfallen. Ob das tatsächlich der Fall ist, prüft man am besten mit einem stark doppelbrechenden faserförmigen Objekt, z. B. mit einem in Kanadabalsam eingebetteten Anhydridspaltstückchen, das linienförmige Risse zeigt. Einen solchen Riß stellt man genau parallel erst mit dem einen, dann mit dem anderen Faden und beobachtet, ob das Bild des Objekts in beiden Stellungen „ausgelöscht“ wird, wie es bei gekreuzten Nikols der Fall sein soll. Trifft das nicht ein, so müssen die Nikols etwas nachgedreht werden.

Bekanntlich braucht man zu polaroskopischen Untersuchungen nicht immer gekreuzte Nikols, sondern man untersucht oft auch nur mit dem Polarisator oder dem Analysator allein. Namentlich bei pleochroitischen Objekten sind die charakteristischen Polarisationserscheinungen schon deutlich sichtbar, wenn man nur einen Nikol, und zwar den Polarisator benutzt. Dann sind natürlich auch die Bedingungen einer fehlerfreien Abbildung besser erfüllbar als mit den gekreuzten Nikols. Sonst verwendet man stets beide Nikols.

**121. Der Strahlengang** (vgl. Abb. 176). Wir haben uns bisher hauptsächlich mit dem Einfluß des Analysators auf die Abbildung befaßt, da die Entscheidung, ob man einen Aufsatz- oder Tubusanalysator (bzw. Innennikol) benutzen soll, vielfach von den Eigenschaften des Analysators abhängig ist. Auch beim Polarisator wurde aber schon erwähnt, daß er auf die Apertur der Beleuchtung einwirkt. Zusammenfassend können wir also feststellen, daß der Strahlengang des Mikroskops durch die Nikols in zweifacher Weise beeinflusst wird, indem 1. die Strahlen-

<sup>1</sup> Zur Not kann man auch ein Strichkreuzglas auf die Blende eines gewöhnlichen Okulars legen.

begrenzung des in das Mikroskop einfallenden und von dort heraustretenden Lichts Veränderungen erfährt, 2. aber die Strahlenvereinigung im Zwischenbild eine Störung erleiden kann, wenn der Analysator vor der Ebene des Zwischenbildes ohne die entsprechenden Korrektionslinsen aufgestellt wird. Die Beeinflussung der Strahlenbegrenzung erklärt sich folgendermaßen. Der Querschnitt des Polarisators wird in richtiger Weise durch den Kondensor in der Eintrittspupille des Objektivs abgebildet. Diese quadratische oder rhombische Fläche wird also den Kreis der Eintrittspupille in allen Fällen einengen, wo die Apertur des Objektivs größer ist als die des Kondensors mit Prisma. Blickt man ohne Okular (und ohne Analysator) auf die Austrittspupille des Objektivs, so wird man dort statt des hellen Kreises ein quadratisch oder rhombisch beleuchtetes Feld sehen. Das Bild des Prismenquerschnitts. Ist die untere (vordere) oder freie Öffnung des Polarisators mit einer Blende ausgerüstet, so wird man natürlich auch in der Austrittspupille des Objektivs stets einen hellen Kreis sehen, der kleiner ist als sonst die Austrittspupille des Objektivs. In allen diesen Fällen wirkt also die Öffnung des Polarisators ähnlich wie eine Aperturblende, und die Irisblende des Mikroskops hat auf die Strahlenbegrenzung nur dann eine Wirkung, wenn man sie ganz eng zusammenzieht. Wie weit nun der Polarisator die Apertur des Mikroskops beeinflussen wird, hängt erstens ab von dem Durchmesser der freien Öffnung des Polarisators, zweitens aber hat die Polarisatoröffnung eine verschiedene Wirkung als Aperturblende je nach der Brennweite des Kondensors.<sup>1</sup> Drittens ist die Stellung des Kondensors von Einfluß. Wird insbesondere der Kondensor so tief gesenkt, daß das Bild der Polarisatoröffnung in die Objektebene und nicht in die Eintrittspupille des Objektivs fällt, so kann die Polarisatoröffnung natürlich nicht die Apertur begrenzen, sie wird Leuchtfeldblende.

Kondensoren von kurzer Brennweite — etwa 1 cm — und großer Apertur — etwa 1,4 — liefern so auch bei verhältnismäßig kleiner Polarisationsöffnung Beleuchtungskegel von großer Apertur, die allerdings nicht den Wert erreicht, den derselbe Kondensor bei normaler Einstellung liefert. Beim aplanatischen Kondensor num Ap 1,4 ist ferner zu berücksichtigen, daß er in einer solchen gesenkten Stellung keine aplanatische Abbildung liefert und also keinen größeren Nutzen bringt als der einfache Kondensor num Ap 1,4. Man sollte diese Einstellung des Kondensors auch bei starken Objektiven nur in den Fällen wählen, wo man wirklich größere Aperturen braucht, als der Kondensor bei normaler Einstellung liefert, und bei schwachen Objektiven, wo man auch vielfach ohne Kondensor oder mit einem Kondensor ohne Frontlinse gut zum Ziele kommt.

Während der Polarisator im allgemeinen die Apertur des Mikroskops beeinflusst, wirkt der Analysator auf die Größe des Gesichtsfeldes in allen Fällen, wo er oberhalb des Okulars steht. Die Austrittspupille des Okulars, den RAMSDENSchen Kreis, betrachtet man ja durch den Analysator ein Prisma, also, das ebenso eine Eintritts- und Austrittspupille hat wie eine Linse. Die Öffnung des Analysators, der meistens unten und oben noch mit einer Blende ausgerüstet ist, wird das mikroskopische Bild begrenzen, wenn mindestens eine von den beiden Öffnungen des Analysators oder beide nicht am Ort des RAMSDENSchen Kreises liegen und den von diesem Kreis ausgehenden Strahlenkegel begrenzen und abschatten, wenn sie zu klein sind. Der Grad der Einschränkung des Gesichtsfeldes wird hier von drei Faktoren abhängen, nämlich 1. von dem angularen Sehtfeld des Okulars, 2. von der Lage des RAMSDENSchen

<sup>1</sup> Die Formel, welche die Abhängigkeit der Apertur von dem Polarisator und der Brennweite des Kondensors ausdrückt, lautet  $a = \frac{d}{2f}$ , wo  $a$  die Apertur,  $d$  den größten Durchmesser der Nikoloöffnung und  $f$  die Brennweite des Kondensors darstellt.

Kreises im Analysator und 3 dem angularen Sehfeld des Analysators. Das unter den gegebenen Verhältnissen größte Sehfeld erhält man durch einen Analysator dann, wenn der RAMSDENSche Kreis etwa in der Mitte des Prismas liegt. Liegt er aber dem oberen oder dem unteren Ende näher, so wird das Sehfeld immer kleiner. Daraus ist zu entnehmen, daß man den Analysator stets so hoch auf das Okular stellen muß, daß der RAMSDENSche Kreis auf seine Mitte fällt. Beim wegklappbaren Analysator läßt sich diese Einstellung am leichtesten und genauesten bewerkstelligen, aber selbst bei den einfachen Aufsatzanalysatoren kann man den Nikol in der Hülse so weit parallel der Längsachse verschieben, daß er die günstigste Stellung erreicht. Schwierigkeiten entstehen nur bei starken Okularen, wo der RAMSDENSche Kreis sehr nahe zur Augenlinse liegt. Dann wird auch die Austrittspupille des Mikroskops stets in der Nähe des unteren Nikolendes liegen, und man erhält, selbst wenn der RAMSDENSche Kreis kleiner als die Öffnung des Analysators ist, ein kleineres Sehfeld als mit dem Okular allein.

**125. Besondere Forderungen an das Abbildungssystem, den Spiegel und den Linsenwechsler.** Zwei wichtige Vorbedingungen der polarisationsmikroskopischen Untersuchungen müssen hier anschließend noch hervorgehoben werden, nämlich daß man auf eine genaue Zentrierung des Strahlengangs besonders achten soll, und daß alles aus dem Strahlengang entfernt werden muß, was außer den Polarisationsprismen und dem Objekt Polarisationserscheinungen hervorrufen konnte. Was die Ausrichtung des Strahlengangs betrifft, sorgt man natürlich in erster Reihe für die genaue Zentrierung der Objektive zur optischen Achse der Beleuchtung mit polarisiertem Licht. Man benutzt deshalb meistens Objektive in zentrierbaren Schlittenwechslern oder den zentrierbaren Zangenwechslern, die ein rasches Wechseln der Objektive gestatten. Bei allen schwierigen polaroskopischen Arbeiten wird man aber auch Wert darauf legen, daß man den Kondensor mit einer zentrierbaren Vorrichtung genau in die optische Achse des Mikroskops stellt. Wesentlich ist ferner, daß das Drehungszentrum des Objektisches so weit gegen die Mikroskopachse zentriert ist, daß auch kleine Objekte, wenn man den Tisch dreht, in der Mitte des Sehfelds bleiben.

In hohem Maße wird das Polarisationsbild gestört, wenn im optischen System irgendwo zwischen dem Polarisator und dem Analysator unabhängig vom Untersuchungsgegenstand noch doppelbrechende Stoffe liegen, deren Gangunterschied und Orientierung nicht — wie bei den Kompensatoren — bekannt ist. Alle optischen Bestandteile also, die das Licht polarisieren konnten, müssen entfernt und durch solche ersetzt werden, die keine Polarisation des Lichts hervorrufen. Spiegel, die nicht aus Metall bestehen oder nicht amalgamiert sind, und ebenso Prismen können das schon polarisierte Licht im optischen System beeinflussen, ein Umstand, der bei der Zusammenstellung der Optik zu polaroskopischen Untersuchungen stets berücksichtigt werden muß. Der Mikroskopspiegel jedoch, der mit einer Amalgamläche versehen ist, reflektiert kein polarisiertes Licht. Am häufigsten tritt störendes polarisiertes Licht auf an den Objektiven die doppelbrechende Substanzen enthalten wie z. B. alle Fluoritsysteme, Apochromate, Quarzlinsen usw. Diese müssen also durch Objektivsysteme ohne Flußpat ersetzt werden namentlich wenn es sich um genaue Messungen an schwachen doppelbrechenden Objekten handelt. Als doppelbrechungsfreie Objektive benutzt man dann an Stelle von Fluoritsystemen und Apochromaten starke Achromate oder eine spezielle hom. Immersionslinse von LERTZ (Achsenbildimmersion) mit einem entsprechenden Immersionskondensor. Für Beobachtungen an biologischen Ob-

jekten bewahrt sich auch die hom. Immersionslinse, ZEISS 50fach ( $1/7$ ) vorzüglich. Bei Apochromaten bemerkt man infolge der eigenen Doppelbrechung stets eine Aufhellung des Sehfelds bei gekreuzten Nikols<sup>1</sup>, was keine erhebliche Störung verursachen wird, so lange sie nicht stark ausgeprägt ist oder wenn die Doppelbrechung des Objekts stark ist. Tritt jedoch eine stärkere Aufhellung auf, so sind solche Apochromate und Fluoritsysteme für polariskopische Arbeiten nicht verwendbar. Auch solche Objektive können nicht benutzt werden, die eine sog. Spannungsdoppelbrechung zeigen. Sind die Linsen so eingefasst, daß die Fassung eine Spannung des Glases und diese eine Doppelbrechung hervorruft, so werden die vom Objekt herrührenden Polarisationserscheinungen merkbar gestört. Man soll daher die Objektive (und auch die Kondensorlinsen, in denen eine Spannungsdoppelbrechung ebenfalls auftreten kann), vor den polariskopischen Untersuchungen prüfen, ob sie spannungsfrei sind und keine Eigendoppelbrechung besitzen. Die Prüfung erfolgt so, daß man bei gekreuzten Nikols ohne Okular auf die Austrittspupille des Objektivs schaut und beobachtet, ob eine Aufhellung bemerkbar wird. Tritt eine Aufhellung in bestimmten Azimuten auf, wenn man das Objektiv in seinem Ansatzgewinde dreht (oder den Kondensor in der Schiebuhse), so ist das ein Zeichen der vorhandenen Spannungsdoppelbrechung. Die Eigendoppelbrechung der Linse im Objektivsystem variiert sich durch eine mehr oder weniger ausgeprägte gleichmäßige Aufhellung der ganzen Austrittspupille. Es ist dabei zu beachten, daß auch die hohe Apertur des Objektivs allein, d. h. die stark gekrümmte Linsenfläche, das einfallende Licht polarisieren kann, namentlich wenn man mit einem breiten Beleuchtungskegel, d. h. mit einem starken Kondensor und vollständig geöffneter Irisblende beleuchtet. Das Bild der aufgehellten Austrittspupille unterscheidet sich aber von jenem, das man bei doppelbrechenden Objektiven erhält, dadurch, daß darin ein dunkles Kreuz sichtbar wird, dessen Arme den Schwingungsebenen des Nikols parallel stehen.

**126. Die konoskopische Methode.** Diese Beobachtungen an der Austrittspupille des Objektivs, die man ohne Okular zur Prüfung der Objektive vorzunehmen pflegt, führen uns zu einer speziellen Art der polariskopischen Untersuchungen hinüber, die man als konoskopische Methode bezeichnet, und die darin besteht, daß man in der Austrittspupille des Objektivs ohne Okular die Lichterscheinung betrachtet. Man wird dabei natürlich keine mikroskopische Abbildung erhalten, wohl aber charakteristische Interferenzerscheinungen, aus denen man die optische Achse im doppelbrechenden Objekt und den Charakter der Doppelbrechung feststellen kann. Diese Interferenzerscheinungen entstehen folgendermaßen (vgl. A. KOHLER [7, S. 1050]). An jedem Punkt der Austrittspupille des Objektivs treffen sich alle Strahlen, die im Objektraum vor dem Objektiv ein Bündel paralleler Strahlen bilden und mit der Achse des Objektivs einen bestimmten Winkel einschließen. Mittelpunkt der Austrittspupille sind z. B. die Strahlen, welche der Achse parallel laufen, an jedem Punkt des Randes der Austrittspupille aber Strahlen, deren Winkel mit der Achse gleich dem halben Öffnungswinkel ist. Was man also in der Austrittspupille beobachtet, repräsentiert lediglich verschiedene Richtungen innerhalb des Objektraumes, aber nicht verschiedene Punkte innerhalb der Objektebene (vgl. Abb. 185).

Wenn nun das einfallende Licht polarisiert ist und mit dem gekreuzten Analysator die Austrittspupille betrachtet wird, so ist die Lichtverteilung die

<sup>1</sup> Zum Teil rührt die Aufhellung von den stark gekrümmten Linsenflächen her und hängt nicht mit der Eigendoppelbrechung oder Spannungsdoppelbrechung der Objektive zusammen.

man sieht, das Ergebnis der Interferenz der Strahlen eines solchen parallelstrahligen Bündels. Je nach dem Gangunterschied, den sie auf dem Weg durch das Objekt erfahren, treten Maxima und Minima der Helligkeit auf, bei weißem Licht auch die bekannten Polarisationsfarben. Diese Lichterscheinung nennt man Achsenbild. Vom Vergrößerungsvermögen und von der num Ap des Objektivs hängt nun der lineare Durchmesser des Achsenbildes ab und die Größe des Neigungswinkels — oder die Aperiur — derjenigen parallelstrahligen Bündel des Objektraums, die noch zum Achsenbild beitragen.

Das konoskopische Bild oder Achsenbild (Abb 185) des doppelbreichenden Objekts kann man dann in verschiedener Weise beobachten. Am einfachsten geschieht das, wenn man — wie schon erwähnt —, ohne Okular in den Tubus hineinschaut (Methode von LESAULX). Ist der lineare Durchmesser des Achsenbildes klein, so beobachtet man es durch Vergrößerungslinsen, d h entweder durch das sog CZAPSKISCHE Okular (vgl A KOHLER [7, S 1065]), oder durch eine Hilfslupe, die man in Verbindung mit einem Okular benutzt und auf den RAMSDENschen Kreis des Okulars stellt (Verfahren nach KLEIN). Am häufigsten pflegt man jedoch die Achsenbilder mit der schon früher geschilderten AMICI-BERTRANDschen Linse oder einem Hilfsmikroskop (zusammengesetztes Konoskop)

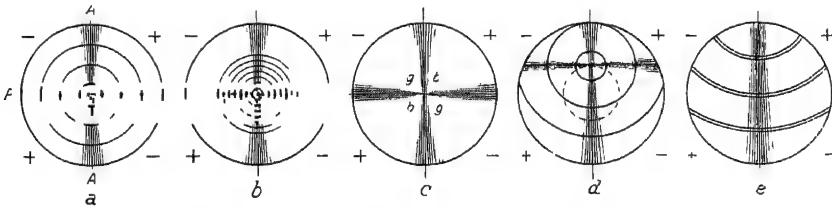


Abb 185 Konoskopbilder optisch einachsiger Objekte

a-c bei Parallelität von optischer und Mikroskopachse, d und e bei Neigung der optischen gegen die Mikroskopachse (Aus W J SCHMIDT [2, Abb 325, S 408])

zu betrachten und zu photographieren. Ist das Hilfsmikroskop oder die Hilfslupe zur Beobachtung der konoskopischen Bilder mit einer EIRLICHschen oder einer Insblende ausgerüstet (an Stelle der Okularblende), so kann man aus dem Bild des Objekts, das man aber bei der konoskopischen Beobachtung gar nicht sieht, denjenigen Teil herausblenden, dessen Achsenbild man untersuchen will und alle anderen Teile abblenden (vgl A KOHLER [7, S 1064]).

**127. Die mikrophotographische Einrichtung.** Die photographische Einrichtung zu den Aufnahmen im polarisierten Licht unterscheidet sich nur wenig von der Vorrichtung, die man zu den Aufnahmen im natürlichen Licht zu benutzen pflegt. Eine Vorbedingung ist selbstverständlich die lichtstarke Beleuchtung mit weißem oder mit monochromatischem Licht. Zu subjektiven Beobachtungen bevorzugt man das weiße Tageslicht, das durch Filter oder Monochromatoren (s S 141) nach Bedarf monochromatisch gestaltet wird. Bei photographischen Aufnahmen ist man natürlich auf künstliche Lichtquellen angewiesen, unter denen es einige zu polaroskopischen Aufnahmen besonders geeignete Formen gibt, wie z B die „Tageslicht- und Monochromatorlampe“ der Firma LEITZ. Im übrigen sind die Kohlenbogenlampen, Punktlichtlampen und Projektionsröhrenlampen auch hier die geeigneten Lichtquellen.

Daß die vertikale Anordnung für polaroskopische Aufnahmen wesentlich bequemer ist als die horizontale liegt auf der Hand. Legt man jedoch auf die Zentrierung des Strahlenganges einen besonderen Wert und will man die etwaige, auch noch so geringe Polarisation des Lichts, die am Mikroskopspiegel auftrifft, vollkommen ausschalten, so wird man viel-

fach doch der Horizontalkamera den Vorzug geben, namentlich dann, wenn das Polarisationsprisma vor dem Mikroskop aufgestellt ist (z. B. bei Aufnahmen mit schwachen Vergrößerungen in einem großen Gesichtsfeld). Wird aber das Mikroskop waagerecht gestellt, so muß man streng darauf achten, daß die Polarisationsprismen in ihrer zentrierten Lage verbleiben. Ist der Polarisator in dem Blendenträger des ABBESchen Apparats eingesetzt, so muß man ihn hier fest anschrauben. Unter den Aufsatzanalysatoren kann man nur solche benutzen, die eine aufklemmbare Fassung haben, wie z. B. der Aufsatzanalysator mit Teilkreis oder der wegklappbare Analysator. Die Tubusanalysatoren und Innennikols sind bei waagerecht und senkrecht gestelltem Mikroskop gleichermaßen verwendbar.

Besondere Vorkehrungen sind nötig, wenn man Aufnahmen in polarisiertem Licht bei ganz schwachen Vergrößerungen, d. h. mit den anastigmatischen Objektiven ohne Okular, erzeugen will (Aufnahmen mit dem einfachen Mikroskop). Hier wird zunächst vorteilhaft sein, statt des gewöhnlichen in den Beleuchtungsapparat eingehängten Polarisators ein großes Polarisationsprisma (s. Abb. 186) vor dem Mikroskop aufzustellen, damit das Gesichtsfeld nicht eingengt werde. Wie an einer anderen Stelle schon angegeben wurde

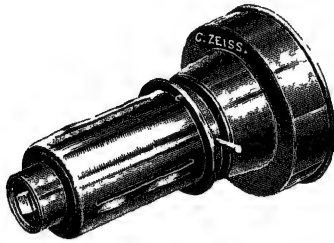


Abb. 186. Großer Analysator für Stativ mit weitem Tubus.  
(Aus ZEISS Druckschnitt Mikro 401.)

(s. S. 194), benutzt man zu solchen Aufnahmen bei gewöhnlichem Licht die Brillenkondensoren und einen Kondensor von langer Brennweite, den man ebenfalls vor dem Mikroskop auf der optischen Bank anordnet. Das große Polarisationsprisma muß dann so aufgestellt werden, daß man das Prisma vor dem großen Kondensor (wenn ein solcher benutzt wird) und hinter der Aperturblende (Linsblende des großen Kondensors) aufstellt. Bei der Wahl der Brillenkondensoren muß man beachten, daß die Öffnung des Polarisators nicht in der Eintrittspupille des Objektivs abgebildet werden kann, weil der Analysator dann das Lichtfeld abschatten würde, sondern so weit hinter der Objektivöffnung, daß sie auf den Analysator fällt. Man wählt also immer Brillenkondensoren mit beträchtlich längerer Brennweite als die des benutzten anastigmatischen Objektivs, z. B. einen Brillenkondensor mit 50 mm Brennweite bei Mikroplanarien von 25–30 mm Brennweite usw. Ist man bei der Aufnahme auf eine kleine Vertikalkamera mit einer kurzen optischen Bank angewiesen, wo man für das große Polarisationsprisma keinen genügenden Platz hat (z. B. bei der HUGENERSchen Kamera), so wird man natürlich den Polarisator in der üblichen Form unterhalb des Brillenkondensors in den Beleuchtungsapparat einhängen müssen. Statt eines Polarisators kann man aber zu Aufnahmen mit einer kleinen Vertikalkamera auch die Glasplattensätze benutzen, die in diesen Fällen ein ausreichend helles polarisiertes Licht liefern.

Der Analysator wird mit dem Trichter möglichst nahe zum Objektiv in den Tubus eingeführt, falls das Mikroskopstativ dafür mit dem weiten Tubus ausgerüstet ist. Die optischen Finnen liefern zu diesem Zweck eigens konstruierte sog. große Analysatoren (Abb. 186). Hat man keinen solchen großen Analysator, oder hat das Mikroskop keinen breiten Tubus, so wird man die Aufnahme mit schwachen Mikroskopobjektiven (s. S. 191) und mit Okularen<sup>1</sup> erzeugen.

Der Analysator wird mit dem Trichter möglichst nahe zum Objektiv in den Tubus eingeführt, falls das Mikroskopstativ dafür mit dem weiten Tubus ausgerüstet ist. Die optischen Finnen liefern zu diesem Zweck eigens konstruierte sog. große Analysatoren (Abb. 186). Hat man keinen solchen großen Analysator, oder hat das Mikroskop keinen breiten Tubus, so wird man die Aufnahme mit schwachen Mikroskopobjektiven (s. S. 191) und mit Okularen<sup>1</sup> erzeugen.

<sup>1</sup> Bei schwachen Mikroskopobjektiven (mit Okular oder Homal) ist das Sehtfeld — mit der Brennweite des Objektivs verglichen — nicht mehr so groß wie bei Planarien und dergleichen. Dabei gilt hier das oben über die Aufnahmen mit dem einfachen Mikroskop Gesagte nicht mehr in vollem Umfang.

müssen, wobei man dann auch die Aufsatzanalysatoren benutzen kann. Man kann auch in solchen Fällen einen Innennikol mit Zwischenstück als Analysator zu wählen. Allein auf den Innennikol mit Zwischenstück ist man dort angewiesen, wo man zur Aufnahme ein Homal benutzt. Die Aufnahmen im polarisierten Licht mit einem „Phoku“ und bei gekreuzten Nikols können daher nur mit einem Innennikol erzielt werden. Bei anderen Typen von Aufsatzkammern, die zur Not auf die Fassung eines Aufsatzanalysators aufgeklemmt werden können, ist es ratsamer, entweder den Innennikol oder den Tubusnikol zu benutzen.

Auch mit dem Analysator allein pflegt man mikrophotographische Aufnahmen zu machen. Dabei läßt sich eine bedeutend größere Apertur der Beleuchtung erzielen. Von besonderer Bedeutung ist das Verfahren bei der Abbildung von doppelbrechenden Strukturen, die in verschiedenen Richtungen der Objektebene angeordnet sind. Benutzt man eine drehbare Schlitzblende (Azimutblende), die zwischen das Objekt und den Beleuchtungsapparat eingeschaltet wird, so kann man je nach der Lage der Schlitzblende bestimmte Strukturelemente aus dem Netzwerk hervorheben und die übrigen im optischen Bild unterdrücken. Außer einem breit geöffneten Beleuchtungskegel ist es aber zu solchen Untersuchungen auch erforderlich, daß die doppelbrechenden Strukturen in einem Einschlußmedium liegen, dessen Brechungsindex gleich ist mit dem des weniger oder des stärker gebrochenen Stahls. Stellt man den Spalt parallel der Schwingungsrichtung desjenigen Strahles, dessen Brechzahl mit der des Einschlußmittels übereinstimmt, so verschwinden diejenigen Fasern fast vollständig, die senkrecht zur Richtung des Spaltes verlaufen.

Die konoskopischen Achsenbilder werden zur photographischen Abbildung mit dem zusammengesetzten Konoskop erzeugt. Man muß daher Sorge dafür tragen, daß das Bild in der Austrittspupille des Objektivs durch die Linse des Hilfsmikroskops scharf auf die Einstellebene der Kamera projiziert wird. Das läßt sich durch verschiedene Verfahren erreichen. Am einfachsten ist es, wenn man das ganze zusammengesetzte Mikroskop so stehen läßt, wie man es bei der subjektiven Beobachtung benutzt hat, und nur die Augenlinse des Hilfsmikroskops etwas aus dem Tubus herauszieht, bis das Achsenbild in der Einstellebene der Kamera scharf erscheint. Arbeitet man mit einem Projektions- oder photographischen Okular (s. S. 45), so kann man durch die Fokussierung der Augenlinse das reelle konoskopische Bild sehr genau auf der Mattscheibe bzw. der Platte einstellen. Ratsam ist, die einmal ermittelte Stellung des Okulars zu markieren (bei den Projektionsokularen und photographischen Okularen ist die Stellung der Augenlinse durch eine Zahl der drehbaren Fassung schon gekennzeichnet), damit man sie immer wieder leicht finden kann. Daß bei Aufnahmen von konoskopischen Bildern jede kleinste Verunreinigung an den Linsen des Objektivs sehr störend im Bild bemerkbar wird, und man daher auf die Reinigung der Linsen (mit einem weichen Pinsel) besonders achten muß, versteht sich von selbst.

Auch in auffallendem Licht können polaroskopische Bilder erzeugt werden, was in der Mineralogie und Metallographie oft von Bedeutung ist. Bei der einseitig schiefen Beleuchtung stellt man das Polarisationsprisma einfach auf einem Reiter in den Weg des auf das Objekt einfallenden Lichts. Beleuchtet man mit einem LIFBERKUNN-Spiegel (Amalgamspiegel) von oben, so läßt sich der Polarisator auch in den Blendenträger des Kondensors einsetzen. Für Untersuchungen mit dem Vertikalilluminator im polarisierten Licht eignen sich besonders die Vorrichtungen der Firmen C. REICHERT und R. WINKEL, bei welchen der Polarisator in drehbarer Fassung unmittelbar mit dem Vertikalilluminator



verbunden ist<sup>1</sup>. Der Analysator wird in der üblichen Weise als Aufsatz- oder Tubusanalysator bzw. Innennikol benutzt.

**128. Die graphische Wirkung.** Die graphische Wirkung der Aufnahmen im polarisierten Licht wird nach alledem, was wir über die Bildentstehung erfahren haben, in erster Reihe davon bestimmt, ob man die Aufnahme bei gekreuzten Nikols oder mit ungekreuzten Nikols bzw. mit einem Polarisationsprisma erzeugt.

Im ersteren Fall wird die graphische Wirkung, ob sie mehr der eines Dunkelfeld- oder eines Hellfeldbildes ähnlich ist, von den Brechungsunterschieden zwischen Objektstrukturen und Umgebung, ferner von der Lage der Schwingungsebenen des Objekts zu den Schwingungsebenen der gekreuzten Nikols abhängig sein. Gelangen Lichtwirkungen in die Bildebene bei gekreuzten Nikols nur von bestimmten anisotropen Formelementen und von den übrigen Teilen des Objekts überhaupt nicht, so erhält man ein Bild, das in seiner graphischen Wirkung stark an ein Dunkelfeldbild erinnert (Abb. 187).

Abb. 187. Isolierte, quergestreifte Muskelfaser einer Fliege bei gekreuzten Nikols aufgenommen. Obj. Z1185, 20fach, Ok. 10fach, Kammerlänge 40 cm, beim Kopieren 1,5fach linear vergrößert. Bogenlicht. Belichtung 6 Sek. Anisotrope Streifen und in der Mitte der Faser eine Kontraktionswulst hell.

Ist das aber nicht der Fall und gelangt Licht auch bei gekreuzten Nikols von der ganzen Objektschicht in die Bildebene, so wird das Objekt (z. B. die dichroischen und pleochroischen Objekte) wie im Hellfeld abgebildet. Bei nicht gekreuzten Nikols hat das Bild stets den Charakter eines Hellfeldbildes mit stark ausgeprägten Interferenzerscheinungen (Abb. 188). Die Deutlichkeit ist natürlich von den Interferenzerscheinungen bedingt, die im Bild



Abb. 188. Dieselbe Faser bei nicht gekreuzten Nikols. Linienfolge, Kammerlänge und Bildvergrößerung wie bei Abb. 187. Bogenlicht. Belichtung 4 Sek.

die Verteilung von Licht und Schatten bestimmen. Daß dabei der Grad der Doppelbrechung in erster Reihe maßgebend ist, braucht nicht weiter betont zu werden. Es ist aber zu beachten, daß auf die Entstehung der Interferenzerscheinungen und somit auch auf den Charakter des Interferenzbildes noch zwei weitere Faktoren einwirken, nämlich die Brechung des Einschlußmediums und die HohenEinstellung des Objektivs. Je nach dem Verhältnis, in welchem der Brechungsindex des Einschlußmittels zu denen der im Objekt gebrochenen Lichtstrahlen steht, ändert sich in einem bestimmten optischen Querschnitt der Charakter des Bildes (vgl. A. KOHLER [1],

S. 1079] und K. SPANNENBERG [2]). Hat man z. B. ein doppelbrechendes Objekt in einem Medium, dessen Brechung geringer ist als die des Objekts, so wird das Objekt bei hoher Einstellung (d. h. bei der höchsten Einstellung, die von ihm noch eine scharfe Abbildung liefert) hell erscheinen, im umgekehrten Fall dunkel. Die von der Lichtinterferenz bedingte helle Grenzlinie (BECKESche Linie) wird beim Heben des Tubus (hohe Einstellung) in das Einschlußmittel wandern, falls dieses stärker lichtbrechend ist als das Objekt, im entgegengesetzten Fall

<sup>1</sup> Auch beim Opak-Illuminator der Firma E. LEITZ ist der Polarisator im Aufsatzrohr anzubringen (vgl. Abb. 129).

aber in das Objekt. Wo man die Wahl des Einschlußmittels hat, wird man meist Medien wählen, deren Brechzahl den beiden Brechzahlen des Objekts möglichst nahe liegt. So erhält man die durch die Doppelbrechung bewirkten Interferenzerscheinungen (Farben, Helligkeitsunterschiede) in reinster Form. Biologische Objekte, die man am häufigsten in nichtfixiertem Zustande polariskopisch zu untersuchen pflegt (Zupfpräparate, Schliffe, Gefrier- oder Rasiermesserschnitte), können und werden am besten in physiologische Flüssigkeiten oder Luft (Schliffe) eingedeckt. Bei mineralogischen oder physikalisch-chemischen Objekten hat man oft ebenfalls die Wahl, ob man als Einschlußmittel Luft, wäßrige Lösungen oder Gallerte und Harze nehmen soll. In vielen Fällen ist das Einschlußmittel jedoch von der Natur des Objekts schon fest bestimmt. Fixierte Schnittpräparate eignen sich im allgemeinen zu den Untersuchungen weniger als frisches Material. Die histologische Färbung stört die polariskopische Beobachtung erheblich. Das polarisationsmikroskopische Bild ist manchmal deutlicher ausgeprägt, wenn die Schnitte statt in Kanadabalsam in Glyceringelatine eingeschlossen sind. Selbstverständlich muß die Einbettungssubstanz, Paraffin oder Zelloidin, restlos aus den Schnitten entfernt werden.

In allen Fällen, wo man doppelbrechende Objekte im Hellfeld, d. h. in einem ausgeleuchteten Sehfeld, beobachtet und photographiert (wie z. B. bei der Bestimmung der Brechungsindizes mit Vergleichsflüssigkeiten), erhält man eine bessere graphische Wirkung, wenn die Apertur der Beleuchtung klein ist. Meistens engt schon der Polarisator die Apertur der Beleuchtung so weit ein, daß die Kontraste zwischen Minima und Maxima im Bilde gut sichtbar sind. Bei Objekten aber, deren Brechungsunterschiede keine so ausgeprägten Interferenzen erzeugen, wird es oft nötig sein, auch die Aperturblende (Irisblende) enger zusammenzuziehen. Auch die Öffnung der Kollektorblende (Leuchtfeldblende) muß in solchen Fällen so eng gestaltet werden, als es des Sehfelds wegen zulässig ist.

Das Bild, das man bei gekreuzten Nikols erhält, hat in der Regel, namentlich wenn das freie Sehfeld dunkler ist als die abgebildeten Objekte, eine günstige graphische Wirkung. Eine gute graphische Wirkung zeigen auch die konoskopischen Bilder. Bei all diesen Bildern, die in den verschiedenen Abstufungen von Hell und Dunkel erscheinen, wird nicht nur die Güte der Abbildung, sondern auch die Kontrastwirkung des Bildes gefordert, wenn die Beleuchtung eine ausreichend große Apertur hat. Ist aber die Apertur größer, als es die Ausdehnung des Achsenbildes erfordert, so wird meistens der Kontrast herabgesetzt, weil dann Kondensor und Objektiv (wegen ihrer größeren Apertur) mehr Linsen haben als für diesen Zweck nötig sind. Durch partielle Reflexion an diesen Linsenflächen wird also das Bild verschleiert. Bei Aufnahmen mit gekreuzten Nikols muß dafür gesorgt werden, daß die Kollektorblende nur so weit geöffnet sei, daß ihr Bild gerade das Objekt deckt, dessen Achsenbild beobachtet werden soll.

**129 Die Aufnahmen von Objekten mit Polarisationsfarben.** Die photographischen Aufnahmen von Objekten mit Polarisationsfarben (Interferenzfarben zwischen Polarisator und Analysator mit Kompensatoren und die Farben pleochroitischer Objekte<sup>1)</sup> bieten meistens, soweit keine Farbenphotographien hergestellt werden, ähnliche Bilder, wie man sie bei subjektiver Beobachtung in monochromatischem Licht erhält<sup>2)</sup>. Es werden deshalb vielfach die Aufnahmen unter Verzicht auf die tonrichtige Wiedergabe in monochromatischem Licht erzeugt (s. S. 287), wobei die reinen Helligkeitsunterschiede oft schärfer hervortreten als bei Aufnahmen in weißem Licht. Die beste Me-

<sup>1)</sup> Vgl. A. KOHLER (7, S. 1088).

<sup>2)</sup> Für die Aufnahme dichroitischer Objekte genügt oft der Polarisator allein (vgl. A. KOHLER [8, S. 1839]).

thode, solche Farbenbilder zu erzielen, namentlich zur Projektion von Bildern mit Polarisationsfarben, ist jedoch die Farbenphotographie (> S 143). Falls man sich mit Schwarz-Weiß-Photogrammen begnügt, erhält man die verhältnismäßig noch beste Wiedergabe der Farbenerscheinungen auf panchromatischen Platten mit geeigneten Lichtfiltern. Die Wahl der Filter richtet sich je nach dem Wellenbereich der im mikroskopischen Bild sichtbaren Polarisationsfarben und dabei auch (bei den nicht vom Pleochroismus bedingten sog. Interferenzfarben) noch nach den Gangunterschieden, die die Farbeninterferenzen bedingen (Ordnung I zwischen 0—1  $\lambda$  Gangunterschied, Ordnung II zwischen 1—2  $\lambda$  Gangunterschied usw.). Dabei ist zu beachten, daß die in Erscheinung tretenden Polarisationsfarben (von den schwarzen und grauen Tönungen abgesehen) Rot, Gelb und Blau je nach der Ordnung der Polarisationsfarben von verschiedener Intensität sind, und zwar sind sie am intensivsten in der niedrigsten und weniger intensiv in den höheren Ordnungen. Zeigt also das erzeugte Bild z. B. die Polarisationsfarben Rot, Gelb und Blau I. Ordnung, so muß man im schwarz-weißen Bild die Helligkeitsunterschiede dieser Interferenzfarben möglichst genau wiedergeben, wobei die blauen Stellen am dunkelsten, die gelben am hellsten und die roten in einem mittleren Ton zum Ausdruck gelangen müssen. Wie weit das gelingen wird, hängt natürlich streng von der Sensibilisierung der Platten für die verschiedenen Spektrumbereiche ab. Bei panchromatischen Platten, die auch für das rote Spektrum sensibilisiert sind, liegen die Verhältnisse am günstigsten, da man hier nur darauf achten muß, daß die blaue Strahlenwirkung gedämpft wird, was mit einem orange gefärbten oder starken Gelbfilter ohne Schwierigkeiten zu erreichen ist. Ist man aber auf orthochromatische Platten angewiesen, so wird man die Abtönung zwischen Rot, Gelb und Blau nie richtig wiedergeben können, da die roten Stellen immer dunkler erscheinen werden als Gelb und Blau. Immerhin wird man mit Gelbfiltern die blauen Strahlen so weit dämpfen können, daß die im Bild hellsten gelben Stellen auch im Photogramm als solche erkennbar bleiben. Farbenbilder, in denen keine rote Farbe auftritt, sondern nur die gelben, grünen, blauen und violetten Farben der verschiedenen Ordnungen, können natürlich auch auf orthochromatischen Platten in ihren Helligkeitsabstufungen richtig wiedergegeben werden, wenn man mit gelben Filtern die Wirkung der blauen Strahlen dämpft. Die Dämpfung der blauen Strahlen muß aber unter allen Umständen erfolgen, da bekanntlich die photographischen Platten für blaues Licht besonders empfindlich sind und so die blauen Polarisationsfarben, welche bei subjektiver Beobachtung weit dunkler erscheinen als die gelben, im Photogramm ebenso hell, sogar noch heller wiedergegeben werden als die gelben. Nun ist aber bei der Wahl der Filter, wie schon erwähnt, auch die Ordnung der Polarisationsfarben zu berücksichtigen, da unter den Polarisationsfarben höherer Ordnung die Helligkeitsunterschiede auch bei der subjektiven Beobachtung nur sehr gering sind. Während man also bei einer Aufnahme von Farben I. Ordnung mit panchromatischen Platten (z. B. Agfa-Kontrastplatten, Panchrom, PERUTZ-Perichromo-B-Platte) ein Orangetfilter (z. B. Nr. 5 der Agfa) und mit orthochromatischen Platten (z. B. PERUTZ-Periotho-Antihalo-Braunsiegelplatte, Agfa-Chromo-Iso-Rapid) ein starkes Gelbfilter (z. B. Nr. 4 der Agfa) benutzen wird, wählt man hellere Orange- bzw. Gelbfilter, sobald die Polarisationsfarben höherer Ordnung sind. Im letzteren Fall wird man von Flüssigkeitsfiltern, deren Farbe und Konzentration jeweils der Helligkeit der Polarisationsfarben angepaßt werden kann, mehr Vorteil haben als von festen Filtern. Ob die Farbenerscheinungen des polaroskopischen Bildes bei parallel gestellten oder gekreuzten Nikols ohne Kompensatoren oder mit einem solchen

photographisch abgebildet werden, und ob im letzteren Fall der Kompensator mit seiner optischen Achse der Schwingungsebene des starker oder des schwächer gebrochenen Strahls parallel gestellt ist, hat auf die rein photographische Arbeit keinen Einfluß

**130. Belichtungszeit und Entwicklung.** Aufnahmen im polarisierten Licht erfordern im allgemeinen eine längere Belichtung als bei derselben Vergrößerung in natürlichem Licht, namentlich die Aufnahmen bei gekreuzten Nikols. Die Belichtungszeit muß für jedes Objekt und jede Art der Einstellung (ob mit einem Polarisationsprisma, mit gekreuzten Nikols, mit Kompensatoren usw.) durch eine Probebelichtung festgestellt werden, da die subjektive Einschätzung nie verläßlich ist. Besonders wichtig ist die genaue Ermittlung der Belichtungszeit in allen Fällen, wo man vom selben Objekt zwei Aufnahmen unter genau gleichen Bedingungen, aber bei verschiedener Stellung des Objekts erzeugen will. Will man z. B. die Objekte einmal in der Schwingungsebene des starker, einmal in der des schwächer gebrochenen Lichtanteils aufnehmen, so muß man hintereinander zwei Aufnahmen machen, wobei das Objekt zur zweiten Aufnahme mit seiner optischen Achse senkrecht zu der Richtung gestellt wird, in der es während der ersten Aufnahme gestanden ist. Ebenso liegen die Dinge, wenn man das Objekt erst bei parallel gestellten und dann bei gekreuzten Nikols oder mit und ohne Kompensatoren usw. darstellen muß. In allen solchen Fällen ist zu beachten, daß die Belichtungszeit der zwei zusammengehörenden Aufnahmen recht verschieden sein kann (vgl. Abb. 187 und 188) und deshalb für beide Aufnahmen gesondert durch Belichtungsreihen ermittelt werden muß. Bei Aufnahmen dichroitischer Objekte sollten jedoch die Belichtungen gleich sein in den beiden Lagen, wenn die Bilder eine richtige Vorstellung von der Stärke des Dichroismus geben sollen.

Was die Entwicklung anbelangt, empfiehlt es sich, polaroskopische Aufnahmen eher weich als hart zu entwickeln, da bei einer harten Entwicklung charakteristische Helligkeitsunterschiede im Interferenzbild leicht unterdrückt werden können. Bei vielen Objekten sind die Kontraste zwischen Hell und Dunkel schon im mikroskopischen Bild so stark ausgeprägt (z. B. Achsenbilder von doppelbrechenden anorganischen Substanzen), daß eine harte Entwicklung dem Bild nur schaden würde.

## VII. Die Aufnahmen im ultravioletten Licht.

(Vgl. zusammenfassende Darstellungen bei J. E. BARNARD [2, 3], A. KOHLER [8, 9], FR. F. LUCAS [2].)

Die Zusammenhänge zwischen der Wellenlänge des Lichts und der Auflösung des mikroskopischen Bildes wurde schon in früheren Kapiteln wiederholt erörtert (s. S. 19). So haben wir schon im Zusammenhang mit den Lichtfiltern auf die Tatsache hingewiesen, daß man mit kurzwelligen blauen oder violetten Strahlen die erforderliche Vergrößerung steigern kann, da die Auflösung vollkommener wird als im weißen Licht. Noch weiter kann aber das Auflösungsvermögen des Mikroskops gesteigert werden, wenn man das Objekt mit ultravioletten Strahlen ( $\lambda = 275\text{--}280\text{ m}\mu$ ) beleuchtet.

Dieses Verfahren erfordert eine besondere Einrichtung, welche drei Hauptforderungen entsprechen muß, und zwar sind diese: 1. eine Lichtquelle, die intensives und möglichst reines ultraviolettes Licht spendet; 2. eine optische Einrichtung aus Quarz, welche die ultravioletten Strahlen nicht absorbiert, und 3. eine Einrichtung zur Sichtbarmachung und Einstellung des subjektiv nicht wahrnehmbaren ultravioletten Bildes. Der nach den Angaben von

A KOHLER (2) zuerst 1904 in den ZEISS-Werken gebaute mikrophotographische Apparat ist diesen Forderungen gemäß gebaut und besteht aus zwei voneinander getrennten Teilen, aus dem Beleuchtungsapparat und dem Aufnahmeapparat mit dem Mikroskop (Abb 189 und 190)

**131. Der Beleuchtungsapparat.** Der Beleuchtungsapparat (Abb 191) enthält die Lichtquelle und die kurze optische Bank mit daraufgestellten Prismen, dem Kollektor und dem Spalt. Das ultraviolette Licht wird durch Kondensator-entladung zwischen zwei Kadmiumelektroden gewonnen. Die eigentliche Lichtquelle ist also die 2—4 mm lange Funkenstrecke zwischen den zwei Elektroden. Die zur Erzeugung der Funken nötige Spannung erhält man mit einem Transformator, der die niedere Spannung der Netzleitung (z. B. 110 oder 220 Volt) auf 10000 Volt transformiert. Während also die Aufladung der Elektroden vom Transformator aus erfolgt, ist für die Entladung durch die Elektroden oder, falls der Abstand der Kadmiumelektroden nicht richtig geregelt werden sollte, durch zwei Messingelektroden, die Funksicherung, gesorgt, die mit Kondensatoren (Leydner-Flasche oder Minosplatten-

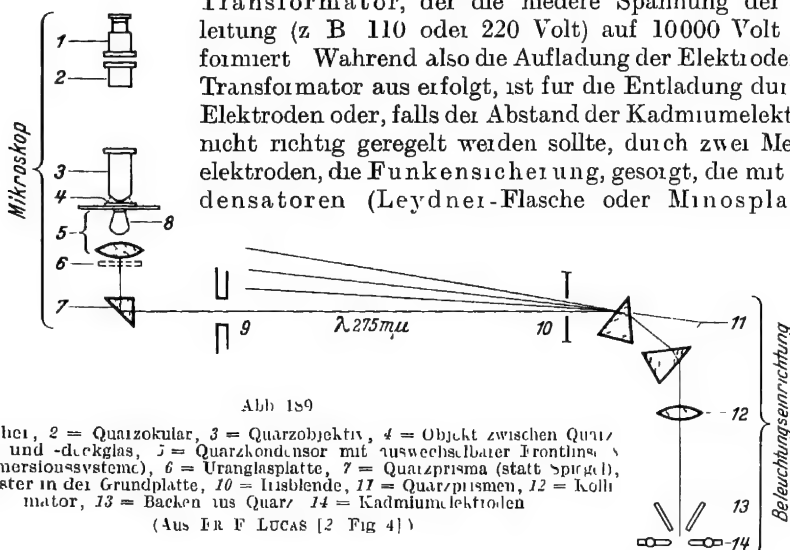


Abb 189

1 = Sucher, 2 = Quarzokular, 3 = Quarzobjektiv, 4 = Objekt zwischen Quarztragglas und -deckglas, 5 = Quarzkondensor mit austauschbarer Frontlinse (für Immersionssystem), 6 = Uraglasplatte, 7 = Quarzprisma (statt Spirale), 9 = Fenster in der Grundplatte, 10 = Liasblende, 11 = Quarzprismen, 12 = Kollektor, 13 = Backen aus Quarz, 14 = Kadmiumelektroden

(Aus IR F LUCAS [2 Fig 4])

verdichtet von je 10000 cm Kapazität) leitend verbunden sind. Der Transformator und die Minosplattenverdichter sind in einem Holzkasten untergebracht, über dessen Rand zwei Querbalken befestigt sind, die die optische Bank tragen. Die Anordnung der Beleuchtungseinrichtung auf der optischen Bank und die Schaltungsverhältnisse lassen sich am besten an der Abb 191 erklären (vgl. auch Abb 189). Wir wählen dabei als Ausgangspunkt den Schalter (*Sch*) des Stromkreises, der in der linken vorderen Ecke des Holzkastens an dem vorderen Querbalken (*L*) liegt. Auf demselben Querbalken, dem Schalter also am nächsten, liegt die eine Stellschraube der optischen Bank, die hier auf einer glatten Unterlage gleitet. Gleich hinter dieser Schraube befindet sich auf einem Reiter der Funkenständer (*F*), der auf zwei isolierenden Porzellansäulen die Metallklemmen für die Elektroden trägt. Die Klemmen sind nach den Seiten hin mit Kupferblechfortsätzen versehen, um die Wärme abzuleiten. Dem einen Kupferblech ist ein Schirm aus Vulkanfaser lose aufgesetzt, damit das Licht des Funkens beim Einstellen des Bildes nicht stört. Die Elektroden bestehen aus etwa 1 mm dicken und 8 mm breiten Blechstreifen, und zwar werden sowohl Kadmium- wie auch Magnesiumelektroden dem Apparat beigegeben<sup>1</sup>. Die Magnesiumelektroden spenden ein ultraviolettes Licht von der mittleren Wellen-

<sup>1</sup> Neudings werden kreisförmige Elektroden verwendet. Über die Vorteile solcher Elektroden und auch über sonstige Neuerungen in der optischen Ausrüstung vgl. A. KOHLER (10).

lange  $280\text{ m}\mu$ . Dieses Licht erzeugt im Uirnglas eine starke Fluoreszenz und wirkt auch besonders stark auf die photographische Platte, es hat jedoch den Nachteil, daß es nicht streng monochromatisch ist (das Spektrum in Ultraviolett besteht aus sehr nahe nebeneinander liegenden Linien). Mit den Monochromaten, die streng auf eine bestimmte Wellenlänge korrigiert sind, erhält man im Magnesiumultraviolett keine vollkommen scharfe Abbildung. Das UV-Licht der Kadmiumelektroden mit der Wellenlänge von  $275\text{ m}\mu$  ist deshalb zu den Monochromaten besser geeignet, denn hier läßt sich ein bestimmtes Wellenbereich (Kadmiumlinie Nr 17) aus dem Spektrum ohne besondere Schwierigkeiten aussondern. Allerdings ist die

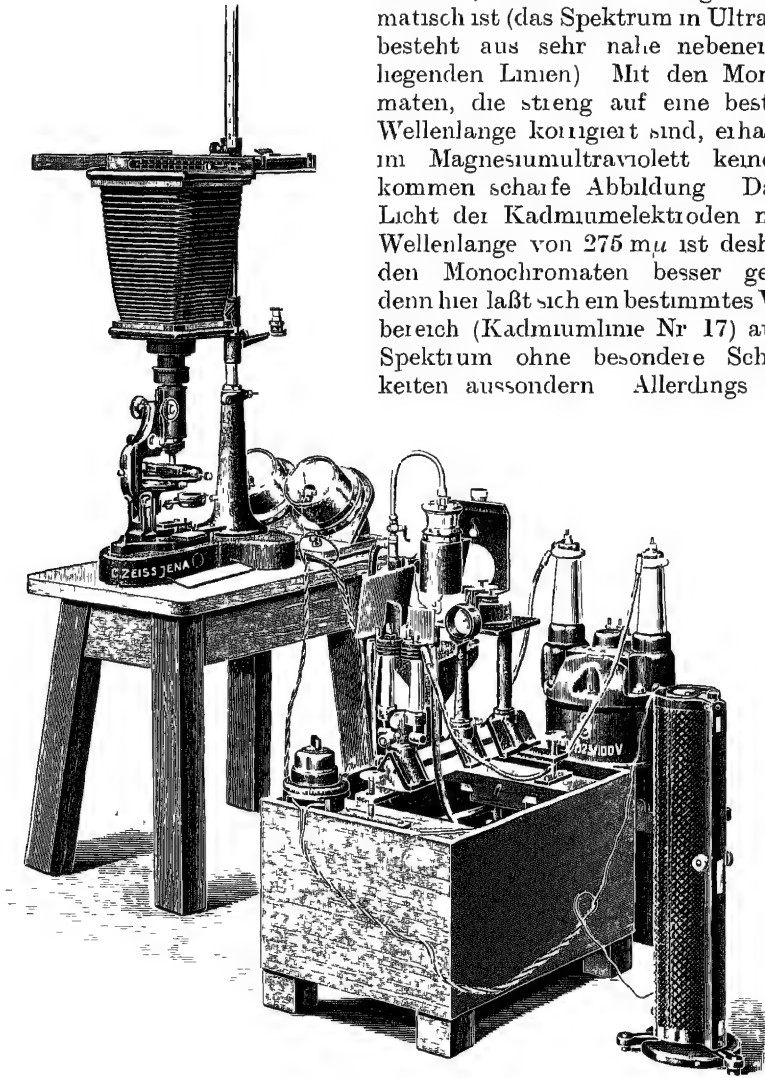


Abb. 190. Einrichtung zur Mikrophotographie mit ultraviolettem Licht  
(Aus A. KOHLER [8, Fig. 944 S. 19341])

Wirkung der Wellenlänge  $275\text{ m}\mu$  auf die photographische Platte nicht so stark wie die des  $280\text{ m}\mu$ , auch erzeugt das Kadmiumultraviolett keine so helle Fluoreszenz wie das Magnesiumlicht.

BARNARD hat mit Vorteil die Wellenlänge von  $283\text{ m}\mu$  zur UV-Beleuchtung verwendet in Verbindung mit einem Dunkelfeldkondensor aus Quarz und Magnesium (einer Aluminium-Magnesium-Legierung) (S. 306). TRIVELLI und LINCKE (7) haben bei ihren Versuchen mit langwelliger UV-Strahlung gefunden, daß man auch mit der Linie  $312\text{ m}\mu$  gute UV-Mikrophotographien erhalten

kann. Die Linsen des Mikroskops müssen auch hier aus Quarz bestehen, das Objekt kann dagegen zwischen einem Objektträger und einem Deckglas aus Glas untergebracht sein, da für diese Wellenlänge auch das Glas eine genügende Durchlässigkeit besitzt. Auch manche Kanadabalsamsorten können als Einschlußmittel Verwendung finden (vgl. S. 307). Aus dem gesetzmäßigen

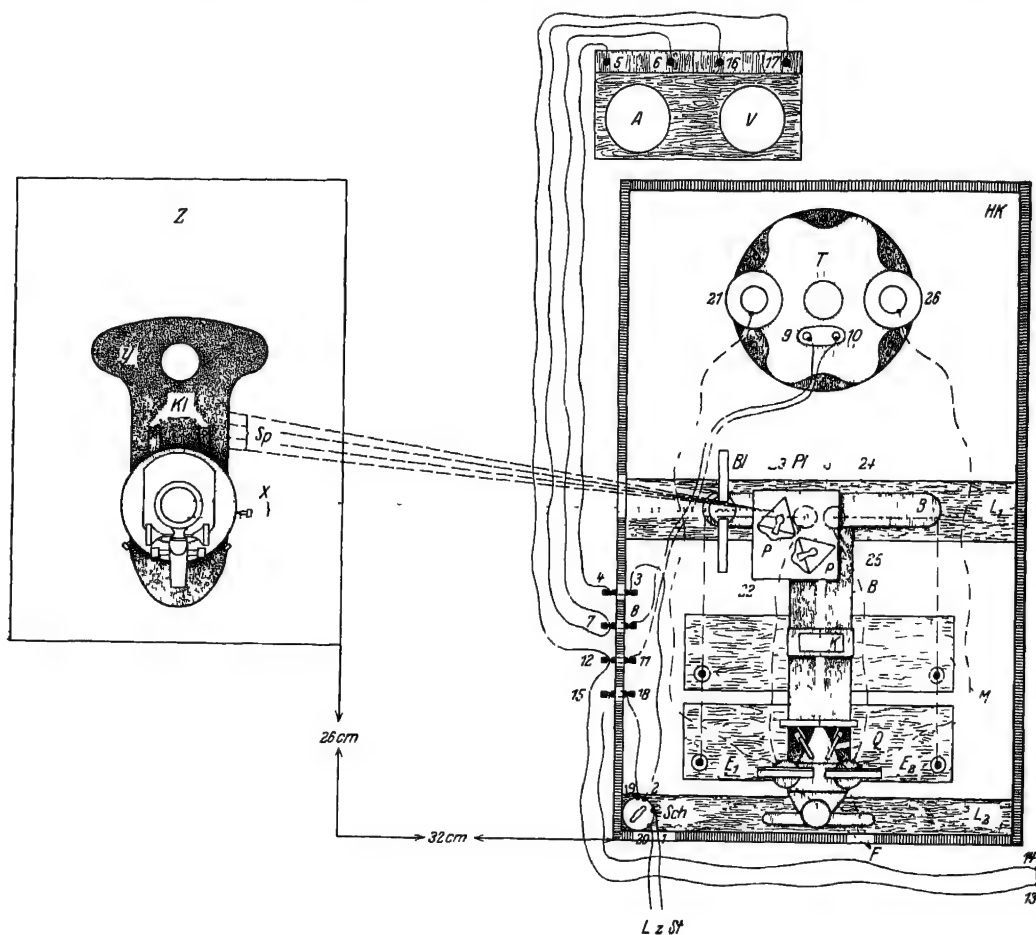


Abb. 191

Rechts Beleuchtungsanordnung.  $A$  = Ampèremeter,  $V$  = Voltmeter,  $B$  = optische Bank,  $Bl$  = Blende,  $E_1$  und  $E_2$  = Elektroden,  $F$  = Funkständer,  $HK$  = Holzkasten,  $K$  = Kollimator,  $L_1, L_2$  = Holzleisten,  $M$  = Minosplattenverdichter,  $P$  = Quarzprismen,  $Pl$  = Platte,  $Q$  = Quarzbaecken,  $Sch$  = Schalter,  $S$  = Sicherheitsstrecke unter  $L_1$  liegend,  $T$  = Transformator,  $W$  = Widerstand. Die Zahlen bedeuten die Klemmen für die elektrischen Leitungen.

Links: Der Unterbau der mikroskopischen Einrichtung.  $Kl$  = Klemme,  $Sp$  = Sichtbares Spektrum,  $X$  = Lichtkanal,  $Y$  = Grundplatte,  $Z$  = Holzblock, — — — Gang der sichtbaren Strahlen, — — — Gang der ultravioletten Strahlen.

(Originalzeichnung von O. MANGOLD, ursprünglich zur Erklärung des Strahlenstichapparats.)

Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Auflösung folgt jedoch mit genügender Deutlichkeit, daß man zur Erzielung der höchsten Leistungsfähigkeit der Methode nur die kurzwellige UV-Strahlung mit Vorteil verwenden kann, und zwar die Wellenlänge  $275 m\mu$  dort, wo eine besonders scharfe Abbildung in einer optischen Ebene gewünscht wird (vgl. Lucas [2]), die Wellenlängen  $280-283 m\mu$  wiederum dort, wo eine bessere Tiefenwirkung vorteilhaft

erscheint UV-Strahlen von längeren Wellen sind vor allem für die Lumineszenzmikroskopie von Vorteil (s. S. 308)

Da die Elektrodenenden bei der Funkenentladung ziemlich rasch abgenutzt werden, ist der Funkenstander mit einer Stellschraube ausgerüstet, die die Elektroden scherenartig bewegt und ihre Nachstellung auf eine 2—4 mm lange Funkenstrecke ermöglicht. Sind die Elektroden stark abgenutzt, so kann man sie leicht auswechseln. Das Licht des zwischen den Kadmiumelektroden erzeugten Funkens zeigt im Spektroskop ein typisches Funkenspektrum aus zahlreichen einzelnen Linien, von denen möglichst genau die Wellenlänge von  $275\text{ m}\mu$  (Kadmiumlinie Ni 17 nach MASCART) ausgesondert werden muß. Die Isolierung dieser Wellenlänge erfolgt nun mit der übrigen Ausrüstung auf der optischen Bank. Zunächst finden wir hinter dem Funkenstander den Spalt ( $Q$ ), d. h. zwei in einem Winkel von etwa  $60^\circ$  gegeneinander senkrecht aufgestellte undurchsichtige Platten (Spaltbacken) aus geschmolzenem Quarz, die einen Schlitz von etwa 2 mm zwischen sich fassen. Das Licht der Funkenstrecke fällt also durch diesen engen Spalt auf den hinter dem Spalt aufgestellten Quarzkollektor von 16 mm Brennweite ( $K$ ), der ein Bild der Lichtquelle, d. h. des beleuchteten Quarzspaltes, entwirft. Ehe es zustande kommt, durchlaufen die Strahlen die auf der Prismenplatte ( $Pl$ ) stehenden Quarzprismen<sup>1</sup>, die, wie aus der Abb. 191 ersichtlich, so gegeneinander aufgestellt sind, daß das Licht von dem ersten vorderen Prisma in das zweite hintere und von hier aus seitwärts zum Mikroskop abgelenkt wird. An beiden Seiten der Prismenplatte befinden sich zwei Stellschrauben der optischen Bank, von denen die linke in einer kegelförmigen Vertiefung sitzt, die andere aber auf eine glatte Unterlage gleitet. Die Prismen besorgen nicht bloß die Ablenkung des Lichts zum seitlich aufgestellten Mikroskop, sondern — was ihre Hauptbedeutung ist — sie zerlegen das aus verschiedenen Wellenlängen zusammengesetzte Licht in die einzelnen Wellenbereiche, aus denen dann die der ultravioletten Strahlen von dem Beleuchtungsapparat des Mikroskops aufgefangen werden. Bevor wir uns aber diesen zuwenden, müssen wir noch die Schaltungen am Beleuchtungsapparat etwas näher ins Auge fassen.

Der Strom wird von einer Steckdose der Netzleitung entnommen und zum Schalter geleitet (in der Abb. 191 zu 20 u. 1). Von hier aus wird nun mit Hilfe der an dem Holzkasten befindlichen Klemmschrauben ein Regulierwiderstand ( $W$ ), ein Ampèremeter ( $A$ ) und der Transformator ( $T$ ) hintereinander, dann ein Voltmeter ( $V$ ), das die Spannung an den Primärklemmen des Transformators anzeigt, parallel geschaltet. Die Zahlen 2, 3, 4, 5, 6, 7 — Schaltung zum Ampèremeter —, 8, 9, 10, 11 — Schaltung des Transformators —, und 12, 13, 14, 15, 18, 19 — Schaltung des Widerstandes — zeigen den primären Stromkreis zur Ladung des Transformators, während die Zahlen 7, 16, 17, 12 die Parallelschaltung des Voltmeters anzeigen. In diesem Schaltungskreis ist die Spannung verhältnismäßig niedrig (Niederspannungskreis), so daß man zu den Leitungen die gewöhnlichen Leitkabel benutzt. Erst von den Sekundärklemmen des Transformators wird der Hochspannungsstrom durch starke, mit Gummi isolierte Drahte zu den Elektroden geführt (in Abb. 191  $E_1$  und 21,  $E_2$  und 26), und ebenso sind die Elektroden mit dem Kondensator verbunden. (Die Zahlen 22, 23, dann 24, 25 stellen in Abb. 191 die Klemmen unterhalb der Querleiste  $L_1$  dar, welche die Leitung zu den parallel geschalteten Minusplattenkondensatoren führen.) Von den Klemmen 23 und 24 leiten zwei blanke starke Kupferdrähte zu den Kondensator-

<sup>1</sup> Neuerdings werden vorteilhafter Hohlprismen mit Quarzwänden, mit destilliertem Wasser gefüllt, verwendet. Auch die Form, in welcher die Quarzprismen zu einem Monochromator für ultraviolettes Licht zusammengestellt werden, ist in letzter Zeit vervollkommen worden (vgl. A. KOHLER [10]).



platten, es wird dadurch eine Funkensicherung (*S*) mit Messingelektroden in festen Abstand parallel zur Kadmiumfunkenstrecke geschaltet, die es ermöglicht, daß auch dann eine Entladung der Spannung im Funkenkreis erfolgt, wenn die Kadmiumelektroden abgenutzt sind und nicht nachgestellt werden. Sicherheits halber erdet man noch die optische Bank mit einem blanken Kupferdraht.

Die geschilderte Anordnung gilt vor allem für Wechselstrom. Bei Gleichstrom muß man statt des Transformators ein Induktorium einschalten, das von der Firma KLINGELFUSS geliefert wird. In den Primarkreis des Induktoriums wird außer dem Regulierwiderstand auch ein SIMONScher Unterbrecher eingeschaltet, und zwar möglichst so, daß der Unterbrecher außerhalb des Arbeitsraums oder wenigstens vom Aufnahmeapparat weit entfernt liegen soll, denn das von ihm verursachte Geräusch und die Sauredämpfe wirken bei der Arbeit mit dem Apparat sehr lastig. Mit Wechselstrom arbeitet man weit angenehmer und bequemer als mit Gleichstrom.

Wir haben den Strahlengang von der Funkenstrecke bis zu dem Punkt verfolgt, wo er das Mikroskop erreicht. Der Lichteinfall erfolgt nun bei einem runden Fenster, das in der Grundplatte, auf der das Mikroskop aufgestellt wird, an der einen der optischen Bank zugekehrten Seite angebracht ist. Hinter diesem Fenster befindet sich ein drehbares, total reflektierendes Quarzprisma, das die Funktion des abmontierten Mikroskopspiegels übernimmt und die von den Prismen der optischen Bank gesendeten ultravioletten Strahlen senkrecht nach oben in die Öffnung des Quarzkondensors reflektiert. Dieser Quarzkondensor wird mit einer Zentriervorrichtung in den ABBESchen Apparat an Stelle des gewöhnlichen Kondensors eingesetzt. Er besteht aus vier Bergkristallinsen und einer eingebauten Irisblende, von denen die zu einem aplantischen Duplex vereinigten zwei oberen Linsen abgenommen und gegen eine einfache Quarzfrontlinse ausgetauscht werden können. Mit der Duplexion hat der Kondensor eine Brennweite von 4 mm und eine num. Ap. von 1,30, mit der einfachen Front eine Brennweite von 7 mm und eine num. Ap. von 0,80. Ohne Frontlinsen erhält man einen Kondensor von der Brennweite 17 mm mit der num. Ap. 0,30. Man kann den Quarzkondensor auch zu kurzwelligem sichtbarem monochromatischem Licht verwenden, nur muß man dabei die Dicke der Objektträger genau berücksichtigen. Bei Glasobjektträgern von 0,5 mm ist der Quarzkondensor ohne weiteres verwendbar. Ist aber der Objektträger dicker (1–1,5 mm), so muß die Frontlinse entfernt werden. Bei Aufnahmen, die eine Beleuchtung in sichtbarem Licht von hoher Apertur erfordern, ersetzt man ihn dann durch einen kleinen Glaskondensor mit größerem Objektabstand, der oberhalb der Irisblende aufgeschraubt wird.

Nun ist zu beachten, daß die Funktion der Leuchtfeld- oder Kollektorblende von der Öffnung des hinteren Prismas (auf der Prismenplatte) ausgeht. Das Bild dieser quadratischen Fläche mit abgerundeten Ecken (der Rand des Kollektors rundet sie nämlich ab) muß also bei richtigem Strahlengang vom Quarzkondensor in die Objektebene geworfen werden. Die richtige Einstellung der Beleuchtung werden wir später kennenlernen, jetzt verfolgen wir einstweilen noch den Strahlengang, der durch den Quarzkondensor zum Objekt gelangt. Dieses liegt zwischen einem Objektträger aus Bergkristall oder aus UV-Glas und einem Deckglas aus geschmolzenem Quarz eingeschlossen. Die Bergkristallplättchen, 25–30 mm groß und 0,5 mm dick, die man als Objektträger benutzt, werden in Metallfassungen eingeklebt, um sie bequemer handhaben zu können (Objektträger nach HEIDENHAIN).

**132. Die Quarzlinsen.** Das abbildende System, in dem man das mikroskopische Bild im ultravioletten Licht erzeugt, besteht aus den von M. v. ROHR berech-

neten und in den ZEISS-Weiken hergestellten Monochromatobjektiven (kurz Monochromaten) und aus HUYGENSSchen oder RAMSDENSchen Okularen, welche aus amorphem Quarz, d. h. aus geschmolzenem Bergkristall, geschliffen werden (s. KOHLER und v. ROHR [7]). Die Monochromate enthalten eine Anzahl von Quarzlinsen (aus geschmolzenem Quarz), so daß sie eine tadellose sphärische, jedoch keine chromatische Korrektur aufweisen. Sie können nur in streng monochromatischem Licht, so z. B. bei der Beleuchtung mit UV-Strahlen, den Forderungen einer einwandfreien mikroskopischen Abbildung Genüge leisten, was durch ihre Bezeichnung als Monochromate zum Ausdruck gebracht wird. Man erhält von der Firma ZEISS die Monochromatobjektive und die dazugehörigen Quarzokulare in folgender Zusammenstellung:

Tabelle 26 Die Monochromatobjektive der Firma CARL ZEISS

Monochromat	16 mm, num Ap 0,2	Trockensystem
Monochromat	6 mm, num Ap 0,35	Trockensystem
Monochromat	2,5 mm, num Ap 0,85	Glyzeriummerision
Monochromat	1,7 mm, num Ap 1,25	Glyzeriummerision
Quarzokular	5	
Quarzokular	7	
Quarzokular	10	
Quarzokular	14	
Quarzokular	20	

Als Immersionsflüssigkeit benutzt man Glycerin mit Wasser so verdünnt, daß sein Brechungsverhältnis  $n$  (für UV-Strahlen von der Wellenlänge  $275 m\mu$  berechnet), mit der des Quarzglases übereinstimmt. Zedernöl ebenso wie Kanadabalsam halten den größten Teil der UV-Strahlen zurück. Es ist stets vorteilhaft, die Immersionslinse 1,7 mm mit einer Kondensorimmersion zu benutzen. Da die Beleuchtung mit UV-Strahlen die Grenze der förderlichen Vergrößerung etwa um das Doppelte erhöht, erhält man mit den Monochromaten der oben angegebenen Reihe entsprechend (s. Tabelle 26) 400-, 600-, 1700- und 2600fache Vergrößerungen. Mit den zwei Immersionsmonochromaten lassen sich bei einer gesteigerten Auflösung der Strukturen weit stärkere Vergrößerungen erzielen als mit den stärksten Apochromaten in natürlichem Licht. Die zwei Trockensysteme liefern zwar Vergrößerungen, die auch in weißem Licht erreichbar sind, die mit den Monochromaten im UV-Licht erzielte Vergrößerung entsteht jedoch bei einer viel geringeren Apertur als dieselbe Vergrößerung in weißem Licht, was für die Tiefenschärfe der Abbildung von großem Vorteil ist. So erhält man mit den Monochromaten bei derselben Vergrößerung und Auflösung Bilder von größerer Tiefenschärfe als mit den Achromaten oder Apochromaten. Die Tiefenschärfe der Abbildung wird noch erhöht, wenn man kein Kadmium-, sondern Magnesiumlicht ( $\lambda = 280 m\mu$ ) verwendet. Bei Aufnahmen an dickeren Objekten (20–30  $\mu$ ) benutzt man also statt der Kadmiumelektroden die Magnesiumelektroden.

Die Okulare mit Bergkristalllinsen sind Korrektionsokulare zu den Monochromaten und daher nur mit diesen verwendbar. Durch die Quarz- und Bergkristall-Linsen aus der der Beleuchtungsapparat und das abbildende System aufgebaut sind, können also die bilderzeugenden UV-Strahlen zur Einstellenebene der Kamera gelangen und dort das ultraviolette Bild erzeugen. Dieses Bild bleibt jedoch für das Auge dessen Netzhaut den UV-Strahlen gegenüber unempfindlich ist, unsichtbar, was sowohl die Einstellung des Bildes als auch die Kontrolle der Beleuchtung wesentlich erschwert. Da die Quarzlinsen Strahlen von längeren Wellen ebenso durchlassen wie die ultravioletten, kann man sich so helfen, daß man erst die Beleuchtung, d. h. den Strahlengang durch Kollektor,

Prismenplatte, totalreflektierendes Prisma und Kondensor bei weißem Licht ausrichtet, das Präparat ebenso bei weißem Licht einstellt und erst dann die Aufnahme bei UV-Licht erzeugt. Ein solches Vorgehen kann jedoch aus zweierlei Gründen keine einwandfreien Aufnahmen liefern: 1. weil die UV-Strahlen bei der Dispersion durch die Prismen anderswo liegen als die übrigen Wellenbereiche des dispergierten Lichts, die Einstellung des Beleuchtungsapparates bei sichtbarem Licht also für diejenige mit UV-Strahlen nicht maßgebend ist, 2. aber, weil in der Bildebene zwischen den UV-Strahlen und den sichtbaren Strahlen eine Fokussdifferenz besteht. Das subjektiv scharf eingestellte Bild wird deshalb auf der photographischen Platte bei UV-Licht unscharf erscheinen. Man kann jedoch sichtbares monochromatisches, d. h. grünes oder gelbes Licht zum Aufsuchen und Einstellen bestimmter Stellen benutzen. Zu diesem Zweck ist neben der optischen Bank eine Quecksilberlampe (z. B. eine Hageh-Lampe) oder eine Natriumlampe auf einem drehbaren Halter so befestigt, daß sie leicht vor die Prismenplatte eingeschaltet und dann beim Gebrauch des UV-Lichts ausgeschaltet werden kann. Die Kontrolle des Strahlengangs mit UV-Licht erfolgt dann mit Hilfe einer Uranglasplatte, die im UV-Licht aufleuchtet, da die UV-Strahlen im Uranglas Fluoreszenz erzeugen.

**133. Zentrierung und Einstellung.** Die Zentrierung der Beleuchtung erfolgt also folgendermaßen. Man schaltet erst die Hilfslampe ein und zentriert den Kondensor mit der Zentriervorrichtung zum Objektiv, das mit einem Schlittenwechsler ebenfalls zentrierbar angebracht ist. Zu dieser vorläufigen Zentrierung braucht man keine Monochromate, sondern man arbeitet mit einem schwachen Achromat. Nun werden mit Hilfe der Zentrierschrauben Objektiv und Quarzkondensor so zueinander justiert, daß das Bild der eng zusammengezogenen Irisblende in der Mitte des Sehfelds liegt<sup>1</sup>. Öffnet man dann die Irisblende und hebt den Kondensor mit dem Trieb des Abbes'schen Apparats, so wird statt der Irisblende das Bild der Hageh- oder Natriumlampe oder bei seitwärts geschwenkter Lampe das der Quarzprismen erscheinen. Um die Öffnung der Prismen genau in die Mitte des Sehfelds zu bringen, braucht man nichts weiter zu tun, als das totalreflektierende Prisma etwas zu drehen oder an den Zentrierschrauben des Kondensors ganz wenig nachzuhelfen.

Zur endgültigen Zentrierung schaltet man jetzt das grüne oder gelbe Licht aus und beleuchtet mit UV-Strahlen. Bei den ersten Versuchen mit der Einrichtung wird man aber statt der Kadmimelektroden die Magnesumelektroden einschalten, da das von diesen gesendete Licht an der Uranglasplatte eine stärkere Fluoreszenz erzeugt. Die UV-Strahlen werden zuerst am Fenster der Grundplatte mit dem Uranglas aufgefangen. Das Funkenspektrum besteht aus einzelnen, einfarbigen Bildern des Funkens oder des Spaltes, die im ultravioletten Bereich das Uranglas aufleuchten lassen. Die letzte Linie des Spektrums erzeugt im Uranglas ein besonders stark fluoreszierendes Licht: sie ist die Linie der UV-Strahlen des Wellenbereiches von  $280\text{ m}\mu$ . Liegt nun diese Linie höher oder tiefer als das Fenster der Grundplatte, so muß man mit Hilfe der Stellschraube hinter dem zweiten (hinteren) Prisma das Linienspektrum soweit heben oder senken, daß die stark fluoreszierende Linie gerade in die Höhe des Fensters fällt. Hat man mit der Stellschraube die Prismenplatte in die richtige Höhe gestellt, so kann man die Linie des Wellenbereiches von  $280\text{ m}\mu$  auf das Fenster und auf das hinter ihm stehende totalreflektierende Prisma fallen lassen, wenn man die ganze optische Bank um die etwa unter der letzten Prismenfläche

<sup>1</sup> Sind die Schlittenwechsler der Monochromate schon aufeinander zentriert, so muß der Kondensor zum Objektiv, im entgegengesetzten Fall aber umgekehrt das Objektiv zum Kondensor zentriert werden.

liegende Stellschraube als Achse dreht. Jetzt legt man eine Uranglasplatte mit Ringmarke in den Blendenträger des ABBESchen Apparats und prüft weiter, ob das helle Funkenbild richtig zentrisch zur Ringmarke und damit in der Öffnung des Quarzkondensors liegt. Da der Kondensor schon früher bei gelbem Licht so hoch gestellt wurde, daß das Bild des Leuchtfelds in der Objektebene entworfen wird, muß man jetzt mit dem auf die Objektebene fokussierten Objektiv das quadratische Bildchen der Prismenöffnung im Fluoreszenzlicht erblicken, wenn man die Uranglasplatte aus dem Blendenträger herausnimmt, sie mit der Marke nach unten auf den Mikroskopisch legt und das Objektiv auf die Marke einstellt. Erscheint das Leuchtfeldbild nicht scharf begrenzt, so muß der Kondensor nachgestellt werden, liegt es nicht zentrisch im Sehfeld, so ändert man nichts an den Zentrierschrauben des Kondensors, sondern sucht zunächst das Bild durch Drehung des totalreflektierenden Prismas in die Mitte zu bringen, erst den Rest korrigiert man mit den Zentrierschrauben des Kondensors. Noch genauer läßt sich das UV-Leuchtfeld in die Objektebene mit dem folgenden Verfahren einstellen. Man läßt den Beleuchtungsapparat so stehen, wie es eben geschildert wurde, und bringt ein fadenförmiges Objekt (Haare, Kokonfaden u. a.) zwischen Quarzplättchen auf das Mikroskop. Bei gelbem oder grünem Licht der Hilfslampe stellt man jetzt mit dem schwächsten Monochromat und einem schwachen Okular das Bild scharf ein, wobei die Irisblende eng zusammengezogen wird. Dann schaltet man UV-Licht ein, die Irisblende wird ganz geöffnet, das Okular entfernt, und auf das obere Tubusende legt man die Uranglasplatte. Man erblickt nun einen fluoreszierenden Lichtfleck auf dem Uranglas, an dessen Stelle das Bild des Objekts erscheinen wird, sobald der Tubus etwas gesenkt wird. Wird aber der Kondensor gehoben, so erhält man in der genau fokussierten Einstellung des Objektivs das scharfe Bild der quadratischen Prismenöffnung mit den abgerundeten Ecken. Damit wäre die Beleuchtung genau auf die Objektebene fokussiert und zur optischen Achse des Mikroskops zentriert, man könnte also zur Einstellung des Bildes auf die Mattscheibe und zur Aufnahme schreiten. Bei ganz schwachen Vergrößerungen braucht man tatsächlich nur an Stelle der Mattscheibe eine fluoreszierende Einstellscheibe aufzulegen, das Bild im Fluoreszenzlicht scharf einzustellen und es dann auf der Platte abzubilden. Abgesehen davon, daß man so selbst bei den schwächsten Vergrößerungen nur nach mehreren Probeaufnahmen eine scharfe Abbildung erhalten kann, ist das mikroskopische Bild im Fluoreszenzlicht so lichtschwach, daß man bei etwas stärkeren Vergrößerungen das Bild kaum sehen wird. Man benutzt daher zur Einstellung auf die Mattscheibe zwei andere Verfahren. Nach dem einen, das von SWINGLE u. BRUGS (1, vgl. dazu A. KOHLER [3]) empfohlen und von WALKHOFF (1, 2) genauer ausgearbeitet wurde, stellt man das Bild auf der Mattscheibe bei grünem oder gelbem Licht der Hilfslampe scharf ein, und zwar so, daß man den Tubus mit der Mikrometerschraube — die zu diesem Zweck mit einer Drehscheibe und Kriesteilung ausgerüstet wird (s. Abb. 192) — bis zur oberen Grenze der Tiefenscharfe hebt. Jetzt wird UV-Licht eingeschaltet, und man erzeugt mehrere Aufnahmen hintereinander, wo bei jeder Aufnahme der Tubus um einen bestimmten Betrag, z. B. um  $\frac{1}{2}$  oder  $1\mu$ , gesenkt wird. Der Betrag, um den man den Tubus senkt, läßt sich an der Kriesteilung der Drehscheibe genau ablesen (vgl. auch LUCAS, S. 303). Entwickelt man die Platten, so kann man aus der Aufnahmenreihe die Einstellung ermitteln, bei der die UV-Strahlen das schärfste Bild liefern. Mit diesem Verfahren wird also die Fokusdifferenz zwischen den ultravioletten und den sichtbaren grünen oder gelben Strahlen empirisch ausgeglichen. Die Vereinigungsstelle der UV-Strahlen liegt natürlich immer tiefer als die der grünen oder gelben Strahlen, wie groß jedoch der Unterschied, d. h. die Fokusdifferenz

ist, läßt sich im voraus schwer bestimmen, denn sie wechselt je nach der Stärke der benutzten Objektive und Okulare. Sogar die Sehschärfe des Beobachters hat auf diese Fokussdifferenz einen merkbaren Einfluß. Hat man also mit einer Aufnahmenreihe festgestellt, daß die scharfe Einstellung im UV-Licht z. B.  $1,5\mu$  tiefer liegt als im grünen oder gelben Licht, so hat dieser Befund nur für die benutzte Linsenfolge Geltung. Wechselt man Objektiv und Okular, so muß von neuem die scharfe Einstellung in der beschriebenen Weise bestimmt werden. Da jedoch die Zahl der Kombinationen bei der geringen Auswahl an Monochromaten und den dazu passenden Okularen beschränkt ist, so hat man durch Probeaufnahmen den Betrag bald festgestellt, um welchen der Tubus gesenkt werden muß, damit nach einer subjektiven Einstellung in sichtbarem Licht die Aufnahme im ultravioletten Licht genügend scharf erscheint.

**134. Der Sucher.** Das zweite Verfahren ist bequemer und sicherer als das eben geschilderte, es erfordert jedoch eine besondere optische Einrichtung, eine Art Einstellupe im Fluoreszenzlicht, den sog. Sucher (vgl. Abb. 192). Dieser besteht aus zwei Quarzlinsen, deren Brechung einem hypermetropischen Auge von etwa 3D entspricht. In ihrem hinteren Brennpunkt befindet sich eine Uranglasplatte als Auffangeschirm und hinter dieser eine starke Lupe. Stellt man den Sucher auf die Austrittspupille des Mikroskops, also auf die Stelle, wo man bei subjektiver Beobachtung das Auge zu stellen pflegt, so wird der Sucher gewissermaßen ein künstliches hypermetropes Auge darstellen, dessen Netzhaut durch die Uranglasplatte vertreten ist und das Bild im Fluoreszenzlicht zeigt. Man wird also mit der Mikrometerschraube den Tubus so weit senken oder heben, bis auf der Uranglasplatte das mikroskopische Bild scharf erscheint. Die Größe des so erhaltenen Bildes entspricht etwa der des Zwischenbildes, es ist daher ziemlich klein und so hell, daß man es auch im Fluoreszenzlicht selbst durch die Lupe zwölfmal vergrößert noch deutlich sehen und einstellen kann. Entfernt man den Sucher und stellt die Kamera auf das Mikroskop, so muß beachtet werden, daß das eingestellte Bild — einer Hypermetropie von 3D entsprechend — nur in 33 cm Entfernung auf dem Auffangeschirm scharf erscheinen wird. Dementsprechend wählt man einen Kameraauszug von etwa 33 cm, ist er aber um einige Zentimeter länger, so schadet es auch nichts. Der Betrag, um den die Fokussierung der UV-Strahlen korrigiert werden muß, ist nämlich von der Kameralänge weitgehend unabhängig. Hat man mit dem Sucher das Bild auf der Uranglasplatte der Sehweite eines 3D hypermetropen Auges entsprechend scharf eingestellt, so wird es auch scharf bleiben, wenn man statt 33 cm 35 cm oder 40 cm Kameralänge wählt. Der Sucher ist aber nicht nur das künstliche Auge, um das UV-Bild wahrzunehmen, sondern gleichzeitig auch die photographische Einstellupe. Wie diese auf die spiegelnde Glasscheibe, so muß die Augenlinse des Suchers auf ein Strichkreuz an der Uranglasplatte genau eingestellt sein, damit das subjektiv gesehene Bild ebenso scharf auf der Platte erscheinen soll. Vollkommen scharf wird man allerdings das Fluoreszenzbild nie einstellen können, und zwar deshalb nicht, weil die Lichterregung in der Uranglasplatte nicht auf eine einzige optische Ebene beschränkt ist, sondern von ein und demselben ultravioletten Strahl in verschiedenen optischen Ebenen hervorgerufen wird. Die von der fluoreszierenden Uranglasplatte entsandten Lichtstrahlen werden also nicht von scharfen Bildpunkten ausgehen, sondern von einem kleinen Lichtkegel, dessen Querschnitt man als Lichtscheibchen erblicken wird, ähnlich den Lichtflecken, die man bei sphärisch mangelhaft korrigierten Linsensystemen zu erhalten pflegt. Diese von der Fluoreszenz bedingte Unschärfe wird um so stärker erscheinen, je dicker die Uranglasplatte ist und je stärker das Bild durch die Lupe vergrößert wird. Die Unschärfe stört

natürlich nur bei der subjektiven Einstellung mit dem Sucher, ist aber das so sichtbare Bild auf der Uranglasplatte möglichst scharf, und fällt dann das Bild auf die photographische Platte, so wird man das photographische Bild mit einer hervorragenden Schärfe erhalten.

Der Sucher wird zu dem Apparat von der Firma ZEISS mitgeliefert, und zwar steht er auf einem drehbaren Arm auf der Gleitstange der Kamera in der Höhe des Okulars befestigt. Eine sinnreiche Einrichtung sorgt dafür, daß man rasch hintereinander den Sucher und die Öffnung der Kamera über dem Okular einstellen kann, ohne daß dabei das Mikroskop auch im geringsten erschuttert wird. Die Öffnung der Kamera ist nämlich mit einer Klappe versehen, die durch einen Hebel von außen geöffnet oder geschlossen werden kann. Will man zur Aufnahme schreiten, so stellt man erst den Hebel „zu“, öffnet den Kassettenschieber und stellt mit dem Sucher das Bild scharf ein. Nachdem das erfolgt ist, schwenkt man den Sucher zur Seite, senkt das Objektivbrett der Kamera, bis der Trichter in die Lichtschutzmanschette hineingleitet, und öffnet dann mit dem Hebel die Klappe. In diesem Moment beginnt die Belichtung, und das eingestellte Bild wird auf die Platte entworfen. Diese Einrichtung ist deshalb von großem Vorteil, weil schon ganz geringe Erschütterungen des Mikroskops die scharfe Einstellung so beeinflussen können, daß die UV-Strahlen nicht mehr genau auf der Platte vereinigt werden.

So große Vorteile auch der Sucher bietet, bürgt er für die Schärfe des UV-Bildes aus den bereits schon angeführten Gründen doch nicht unbedingt. Über die Abbildungsschärfe der Strukturen also, die in ultravioletttem Licht erst auf der photographischen Platte sichtbar werden, vermag uns auch der Sucher keinen Aufschluß zu bieten. Handelt es sich also um solche Strukturfeinheiten — und gerade ihrerwegen werden im UV-Licht am häufigsten Aufnahmen gemacht — so ist man ebenfalls auf Probeaufnahmen angewiesen, wobei man vier Aufnahmen auf derselben Platte erzielt mit je  $1\ \mu$  Unterschied in der Einstellung. Zu diesem Zweck benutzt man am besten eine Schiebekassette, in welcher man zwei  $9 \times 12$  Platten für vier Aufnahmen  $4,5 \times 6\text{ cm}^2$  unterbringt und dann nacheinander belichtet. Dadurch erspart man sich das Wechseln der Kassetten und die dabei unvermeidliche neuerliche scharfe Einstellung mit dem Sucher.

**135. Die Reihenaufnahmen in UV-Licht nach FR. F. LUCAS.** In neuester Zeit (1930) hat FR. F. LUCAS (2) eine Einrichtung zu mikrophotographischen Aufnahmen in ultravioletttem Licht beschrieben, welche sich bei metallographischen und zytologischen Untersuchungen bestens bewährt hat. Der Apparat entspricht im wesentlichen der KOHLERSchen Anordnung. Als technische Neuerung kommt nur ein Gradmesser (Protraktor) dazu, dessen Zeiger, wie Abb. 192 zeigt, an der feinen Einstellschraube, der Halbkreis aber am Mikroskopstativ befestigt ist. Im Vergleich zu dem ähnlichen Gradmesser von WALKHOFF hat dieser den Vorteil, daß man den graduerten Kreisbogen vor dem Zeiger verschieben kann. Eine Teilung (zwischen zwei Teilstrichen) entspricht einer Vertikalbewegung der Mikrometerschraube von  $\frac{1}{4}\ \mu$ . Hat man also mit dem Sucher das sichtbare Bild mit leidlicher Schärfe eingestellt, so dreht man den Kreisbogen vor dem Zeiger auf den ersten Teilstrich. Jetzt können nacheinander mehrere Aufnahmen mit Unterschieden von  $\frac{1}{4}\ \mu$  in der Einstellung vorgenommen werden, indem man den Zeiger um je eine Teilung weiter dreht. Auch feinere Bewegungen der Mikrometerschraube bis zu  $\frac{1}{16}\ \mu$  sind erzielbar, denn die Teilungen sind verhältnismäßig breit. Die Vorbedingung dafür ist allerdings, daß der Mechanismus der Feineinstellung ohne toten Gang prompt funktioniert und jede noch so geringe Senkung des Mikroskoptubus (etwa durch Wärme-

ausdehnung, Gravitation usw.) vollkommen ausgeschlossen bleibt Vier Aufnahmen, in Abständen von  $\frac{1}{4}\mu$  auf verschiedenen Einstellebenen fokussiert, genügen vollkommen, um die Einstellebene des scharfsten Bildes zu finden Man kann aber diese Methode, die A KOHLER (2) schon 1904 angegeben hat, in bester Weise auch dazu verwenden, optische Serien von einer und derselben Zelle zu erzielen Bei der genauen Korrektur der Monochromate und der großen Apertur des abbildenden Systems in UV-Licht ist die Tiefenschärfe so gering, daß optische Ebenen, die  $\frac{1}{2}$ — $2\mu$  oberhalb oder unterhalb liegen, das Bild der genau fokussierten Ebene in keinerlei Weise storen, vorausgesetzt, daß man mit den Strahlen der Kadmiumlinie Nr 17 beleuchtet Man erhält dabei äußerst klare und scharfe Bildserien aus verschiedenen optischen

Ebenen einer lebenden Zelle (Abb 193)

FR F LUCAS (1) hat das ultraviolette Licht auch zur Mikrophotographie im Auflicht angewandt und dadurch die Methode für die Metallurgie dienstbar gemacht Die Beleuchtung muß zu solchen Zwecken durch einen mit Quarzplatten oder Quarzprismen ausgerüsteten Vertikalilluminator erfolgen bei passender Zentrierung des Strahlenganges in die Blendöffnung des Vertikalilluminators

Wir haben bisher nur die Vorteile der Lumineszenzerscheinungen, welche die UV-Strahlen im Uranglas erregen, und die die Kontrolle der Beleuchtung wie auch die scharfe Einstellung des Bildes ermöglichen, kennengeleitet Nachteilig

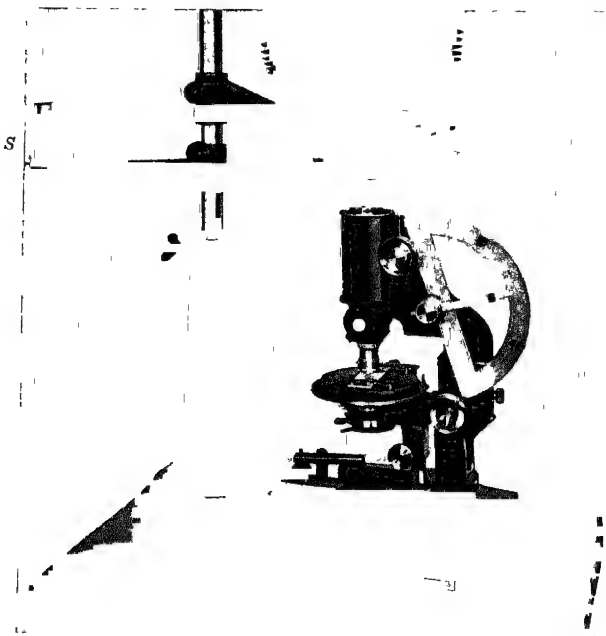


Abb 192 Der Gradmesser (Protraktor) an der feinen Einstellschraube  
S = Sucher (Aus FR F LUCAS [2, Fig 3])

wirkt jedoch die Lumineszenz auf das Bild ein, wenn sie im Objekt oder außerhalb des Objekts im abbildenden System des Mikroskops entsteht Die Monochromate und die zugehörigen Okulare sind schon so beschaffen, daß in ihnen kein Lumineszenzlicht auftreten kann (Quarz zeigt im Gegensatz zu Glas im UV-Licht keine Lumineszenz) Dagegen wird oftens im Objekt eine Lumineszenz bemerkbar sein, da viele anorganische oder organische Substanzen (so z B Eisen, Zellulose, Chlorophyll usw.) in ultraviolettem Licht fluoreszieren, und zwar um so stärker, je intensiver die Beleuchtung mit UV-Strahlen erfolgt und je dicker die Objektschicht ist Da im allgemeinen das Fluoreszenzlicht viel zu schwach ist, um auf die photographische Platte in der Zeit, während man die Aufnahme im UV-Licht macht, einzuwirken, so wird es in den meisten Fällen auch nicht storen Ist es jedoch stärker, so wird es ratsam sein, aus dem fluoreszierenden Objekt ein dünneres Präparat herzustellen

**136. Die Belichtungszeit.** Die Belichtungszeit muß stets durch eine Belichtungsreihe festgestellt werden, da man die Erfahrungen aus der Mikrophotographie mit sichtbarem Licht nicht gut verwerthen kann. Wie das bei der Empfindlichkeit der photographischen Platten nicht anders zu erwarten ist, werden im allgemeinen kurze Belichtungszeiten notwendig sein, die Dicke des Objekts und die Absorption der UV-Strahlen im Objekt, worüber im folgenden noch die Rede sein wird, beeinflussen jedoch die Belichtungszeit bei verschiedenen Aufnahmen sehr verschieden. Im übrigen ist die Abhängigkeit der Belichtungszeit von der Öffnung der Blenden, der Apertur der Objektive und der Stärke der linearen Vergrößerung (dem Okular und dem Kameraauszug) dieselbe wie bei Aufnahmen in sichtbarem Licht. Was die Öffnung der Ausblende anbelangt, empfiehlt es

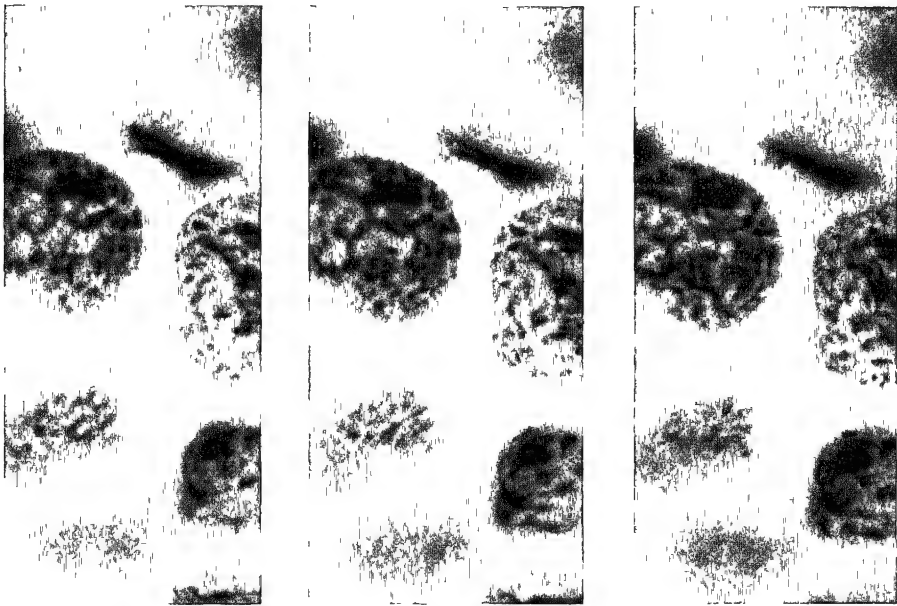


Abb. 193. Drei optische Ebenen einer und derselben Gruppe von lebensfrischen Zellen (Mäusegeschwulstzellen) mit  $\frac{1}{10} \mu$  Unterschied in der Einstellung. Vergr. 1800fach. Bild 4-5 verkleinert.  
(Originalaufnahme von FR. F. LUCAS)

sich, einige Probeaufnahmen von ein und demselben Objekt bei verschiedenen weiten Blendenöffnungen vorzunehmen, denn die Wirkung der Blendenöffnung auf die Deutlichkeit des Bildes läßt sich nur so und nicht nach subjektiver Beobachtung in sichtbarem Licht beurteilen. Am besten erhält man die nötige Auskunft über die Wirkung der hier geschilderten verschiedenen Faktoren, wenn man erst mit einem geeigneten Testpräparat und zwar mit einem nativen Blutpräparat (menschliche Blutzellen in physiologischer Lösung) einige Probeaufnahmen macht. Es werden vielfach auch Probeaufnahmen von Diatomeenschalen, die zwischen Quarzplättchen in Luft eingeschlossen sind, vorgenommen. Solche Aufnahmen mögen zwar die stark gesteigerte Auflösung im ultravioletten Licht eindrucksvoll darstellen, eignen sich aber nicht gut als Proben zu Aufnahmen, die man von protoplasmatischen, d. h. weniger lichtbrechenden Strukturen, zu erzielen wünscht. Hat man aber an Blutzellen bei verschiedenen Vergrößerungen, verschieden hohen Einstellungen und bei verschiedenen weiten Blendenöffnungen die Technik der Aufnahmen in UV-Licht eingeübt und die



Bedingungen kennengelernt, bei denen man das scharfste und deutlichste Bild erhalten kann, so wird man auch für weitere Aufnahmen an verschiedenen zytologischen Objekten sichere Anhaltspunkte gewinnen

Die UV-Strahlen erzeugen auf der photographischen Platte im allgemeinen ein weiches Bild als die sichtbaren Strahlen unter denselben Beleuchtungsverhältnissen. Es ist daher angezeigt, hart arbeitende Platten zu verwenden (z. B. PERUTZ, Photomechanische Platte D oder Topoplatte, Agfa-Kontrastplatten) und hart zu entwickeln.

**137. Die Vorteile der UV-Mikrophotographie.** Die graphische Wirkung des ultravioletten Lichtbildes entspricht der eines in sichtbarem Licht erhaltenen Hellfeldbildes (vgl. Abb. 193). Drei Vorzüge zeichnen dieses ultraviolette Bild von sonstigen mikrophotographischen Abbildungen aus, dies sind: 1. die stärkere Auflösung des Strukturbildes, d. h. die Sichtbarmachung von Strukturelementen, die in sichtbarem Licht bei der gleichen Apertur der Abbildung nicht wahrgenommen werden konnten; 2. die schärfere Vereinigung der Strahlen des streng monochromatischen Lichtes und 3. die stärkeren Kontraste zwischen helleren und dunkleren Stellen des Strukturbildes in solchen Fällen, wo das mikroskopische Bild in sichtbarem Licht kontrastarm erscheint. Es ist daraus leicht zu entnehmen, daß die Mikrophotographie in ultraviolettem Licht in erster Reihe bei der Untersuchung von frischen oder lebenden zytologischen Objekten wesentliche Vorteile bietet, und zwar nicht allein als Abbildungsverfahren, sondern auch als eine mikroskopische Untersuchungsmethode, mit deren Hilfe man die Analyse der Form- und Struktureinheiten in den elementaren Lebewesen über die Grenzen hinaus ausdehnen kann, die der Auflösung in sichtbarem Licht gezogen sind. Es werden im UV-Licht auf der photographischen Platte Protoplasmastrukturen, Elementarfibrillen oder -körner sichtbar, die sonst weder bei Hellfeld- noch bei Dunkelfeldbeleuchtung in Erscheinung treten und wenn doch, dann nie mit solcher Deutlichkeit (vgl. V. FRANZ [1], O. WALKHOFF [1, 2], W. WEIMANN [1], H. MARCUS [1, 2], PH. STÖHR jun. [1, 2], DAMIANOVITSCH und PIROSKY [1], FR. F. LUCAS [2], FR. F. LUCAS und E. STARK [1]). Auch kleinste Bakterienformen, die in ungefärbtem, oft auch in gefärbtem Zustand nicht zu sehen sind, lassen sich im UV-Licht deutlich abbilden (vgl. KRUIS [1], SAXL [1], W. STEMPEL [1]). Eine besondere Methode zur Abbildung solcher in sichtbarem Licht schwer oder überhaupt nicht darstellbarer Mikroorganismen und Virusarten haben GYE [1] und BARNARD [1] ausgearbeitet, bei der das Aufsuchen und die subjektive Einstellung der Objekte dadurch erleichtert wird, daß man im Dunkelfeld einstellt und dann das so eingestellte Objekt mit UV-Strahlen photographiert. Der Quarzkondensor des ZEISS'schen UV-Apparats wurde dafür zentrisch in einen Dunkelfeldkondensor eingebaut, so daß die Öffnung des Quarzkondensors (wie bei einem Wechselkondensor die Linse für die Hellfeldbeleuchtung) mit einer Blende verdeckt werden kann, wenn man das Objekt in sichtbarem Licht, und zwar bei Dunkelfeldbeleuchtung, betrachten will. Schaltet man UV-Strahlen ein und ist die Öffnung des Quarzkondensors frei, so erhält man ein UV-Bild im Hellfeld. Mit diesem Verfahren haben GYE und BARNARD einen filtrierbaren Virus (Ultravirus) sichtbar gemacht, den sie als den Erreger der Krebskrankheit betrachten. Es sei betont, daß die Dunkelfeldbeleuchtung nur die Einstellung des Objektes erleichtert, auf die Abbildung mit UV-Strahlen hat sie jedoch keinen Einfluß. Zu ähnlicher Verwendung eignet sich auch der Dunkelfeldkondensor von SPIELER (s. S. 211), falls seine Linse zur Hellfeldbeleuchtung aus Quarz hergestellt wird.

Außer den Form- und Strukturelementen, die nur in UV-Aufnahmen sichtbar werden, erhält man mit der Methode auch von Strukturen, die schon in

natürlichem Licht sichtbar sind, bessere Abbildungen. Am schönsten tritt dies dort in Erscheinung, wo das Objekt periodische, d. h. ausgesprochen gitterartige Strukturen enthält, wie das bei Diatomeenschalen, Schmetterlingsschuppen, quergestreiften Muskelfibrillen (s. H. MARCUS [1, 2]) oder lamellar aufgebauten Stützsubstanzen (Chitin, Knochen, Schmelz, Zement usw., vgl. WALKHOFF [1, 2]) der Fall ist. Auch dort, wo die Strukturelemente im Objekt nicht periodisch angeordnet sind, wie z. B. die elementaren Nervenfasern oder die NISSEL-Schollen in einer Nervenzelle (s. WEIMANN [1] und PH. STORR jun. [2]), wird man eine bessere Auflösung erhalten. Die Deutung der so erhaltenen Bilder wird manchmal nur dadurch erschwert, daß die Absorption der ultravioletten Strahlen, von der die Kontraste im Bild hier hauptsächlich bedingt sind, in den verschiedenen Zellbestandteilen ganz verschieden und auch in einer anderen Weise erfolgen kann, als man sie in sichtbarem Licht an ungefarbten und gefärbten Präparaten zu sehen gewohnt ist. Man erzeugt ferner im UV-Licht infolge der besseren Strahlenvereinigung überaus scharfe Bilder, die man in natürlichem Licht bei ungefarbten frischen Objekten mit Objektiven von hohen Aperturen nie so scharf erhalten kann. Es sei schließlich nochmals darauf hingewiesen, daß bestimmte Strukturen in den Zellen die UV-Strahlen stärker, andere dagegen weniger oder überhaupt nicht absorbieren. Dieser Unterschied in der Lichtabsorption erzeugt dann im photographischen Bild so deutliche Kontraste, wie wenn das Objekt in dunkleren und helleren Tönen gefärbt wäre. So werden z. B. die Zellkerne, die NISSEL-Schollen der Nervenzellen und die Querstreifung der Muskelfasern dunkel erscheinen wie in einem mit Eisenhamatopylin gefärbten Präparat, da die Chromatin- und die NISSEL-Substanz oder die Z- und Q-Streifen der Muskelfasern im Gegensatz zum Protoplasma die UV-Strahlen stark absorbieren<sup>1</sup> (vgl. Abb. 193). Daß dieser Umstand bei der Abbildung von lebensfrischen Zellen und Geweben sehr vorteilhaft ist, braucht nicht besonders betont zu werden. Es ist jedoch bei Aufnahmen von lebenden Zellen zu beachten, daß manche von ihnen den UV-Strahlen gegenüber stark empfindlich sind und schon bei kurzen Belichtungszeiten geschädigt oder abgetötet werden können (z. B. Amöben, Spermien, Eizellen, weiße Blutzellen usw.). Gewebezellen sind im allgemeinen weniger empfindlich als die Bakterien, die Protisten oder die Geschlechtszellen. Selbst die Zellen der Gewebekulturen können im UV-Licht photographiert werden (auf Quarzplättchen, womöglich mit wenig Plasma und viel RINGER-LOCKE-Lösung gezuchtet, in hohlgeschliffenen Quarz-Objektträgern eingeschlossen), ohne daß ihr Wachstum dadurch merkbar gehemmt wurde, vorausgesetzt, daß die Belichtung nur einige Sekunden dauert. Die günstigsten Objekte für die Aufnahme bieten aber überlebende pflanzliche oder tierische Gewebe in physiologischen Lösungen als Zupf- oder Quetschpräparate.

Die Zellen können sowohl in nichtfixiertem und ungefarbtem Zustande wie auch vitalgefärbt oder fixiert und ungefarbt zur Aufnahme gelangen. Als Fixierungsmittel eignen sich Alkohol, Äther-Alkohol, Formalin oder das CARNOYsche Gemisch (Chloroform-Essigsäure), dagegen keine pikrinsäure- oder sublimathaltigen Lösungen. Zum Eindecken eignen sich Wasser und physiologische Lösungen, Glycerin und Vaselinol oder Paraffinum liquidum (vgl. TRIVELLI und LINCKE [1]).

<sup>1</sup> Eigentümlicherweise zeichnen sich die Nemobrillen dadurch aus, daß sie die ultravioletten Strahlen nur schwach absorbieren und deshalb im UV-Licht äußerst durchsichtig erscheinen (ORUELA TELLO [beide zitiert nach WEIMANN], WEIMANN [1]).

## VIII. Die Lumineszenzmikroskopie.

(Vgl. zusammenfassende Darstellungen bei DANCKWORT [1], HADJIOLOFF [1], KOEHL [2, 3, 4], KOHLER [3, 4], MEINER [5, 7], PLOTNIKOW [1])

**138. Das Lumineszenzlicht** Anschließend wollen wir noch eine mikroskopische Untersuchungsmethode erwähnen, bei welcher man ebenfalls mit ultravioletten Strahlen beleuchtet, das Bild jedoch nicht mit UV-Strahlen, sondern mit sichtbaren Strahlen erzeugt. Wir haben schon im vorigen Kapitel wiederholt erwähnt, daß das UV-Licht in einer Reihe von anorganischen und organischen Substanzen Lumineszenz erzeugt, und da das erregte Licht im Sinne des STOCKESSCHEN Gesetzes eine größere Wellenlänge hat als das erregende, werden die so entstandenen Lichterscheinungen vom Auge wahrgenommen. Die Auswertung

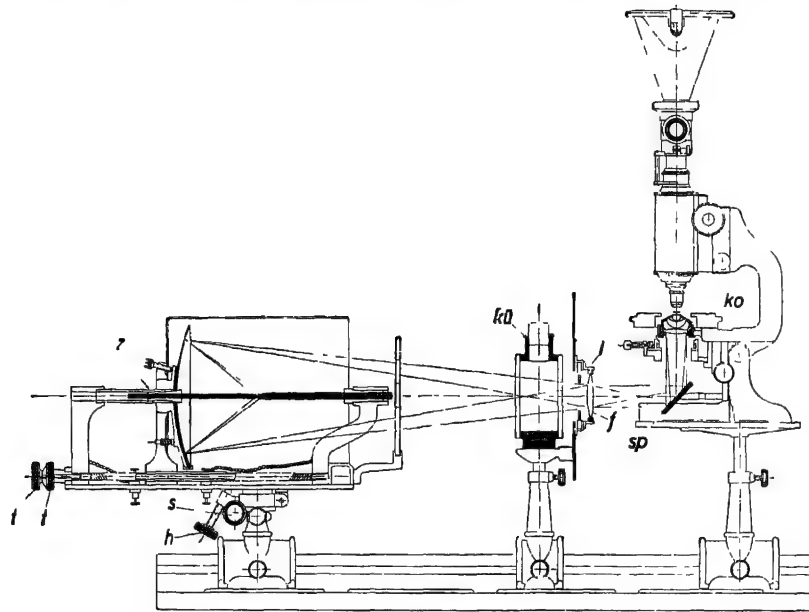


Abb. 194. Einrichtung der Firma E. BÜSCH zur Lumineszenzmikroskopie.

*t* = Triebknopf zur Regelung der Kohlen, *z* = Zentrierschraube, *h*, *s* = Einstellschrauben der Spiegellampe, *u* = UV-Kuvette, *i* = Blende, *f* = Feldlinse (40 cm von der Lampe entfernt), *sp* = Spiegel, *ko* = Kondensor (AUS H. NAUMANN [5, S. 23]).

dieser Eischebung für die mikroskopische Forschung ist nach H. LEHMANN (1), der ein dafür geeignetes Mikroskop angegeben hat, an folgende Bedingungen geknüpft. Die Belichtung muß mit reinem UV-Licht erfolgen, man benutzt also entweder den schon geschilderten Beleuchtungsapparat der ZEISSschen UV-Einrichtung oder eine Kohlenbogenlampe, die mit Nickeldochtkohlen mit einem Kollektor aus Uviolglas und einem Filter aus dem UV-Strahlen durchlassenden Kobaltglas ausgerüstet ist. Am besten eignet sich nach G. KOEHL (4) zu Aufnahmen im Lumineszenzlicht die Spiegelbogenlampe (BÜSCH) (Abb. 194), man erzielt aber auch gute Aufnahmen bei nicht allzu langen Belichtungszeiten mit Kondensorbogenlampen. Punktlichtlampen und Niedervoltlampen eignen sich nur zur subjektiven Beobachtung. Bei photographischen Aufnahmen erfordert das von ihnen erzeugte Fluoreszenzlicht lange Belichtungszeiten. So beträgt die Belichtungszeit nach H. NAUMANN (4, 5) bei Glühlampen mindestens 2 bis 3 Stunden, bei gewöhnlichen Kohlenbogenlampen (Kondensorbogenlampen)

mindestens  $\frac{1}{4}$  Stunde, bei Spiegellampen 3—20 Minuten. Mit der Vorkehrung von HAITINGER gelingt es, Aufnahmen auch nach 1 bis 2 Minuten Belichtung zu erhalten (s. Abb. 196). Zur Beleuchtung benutzt man nach P. METZNER (7) nicht die Anode, sondern den an UV-Strahlen besonders reichhaltigen Lichtbogen zwischen den Kohlen. Hinter der Lampe und vor dem Mikroskop ist dann das eigentliche ultraviolette Filter aufgestellt, das nach H. LEHMANN (1) eine Doppelkuvette aus drei blauen Uviolglasscheiben ist. Die eine Abteilung der Kuvette wird mit einer 25proz. Kupfersulfatlösung, die andere mit einer Lösung von Nitrosodimethylamin (1 : 7500) gefüllt.

G. KOEGL (1, 4) verwendet eine kleine Kuvette, deren eine Seite aus Uviol-, die andere aus Uvetglas besteht, und die mit 5proz. Kupfersulfatlösung gefüllt wird. E. JURGENS (1) benutzt als Filter eine Kuvette mit 1proz. Zerammonnitratlösung in Verbindung mit Schwarzglasfilter oder das Trockenfilter von SCHOTT u. GEN. GG 4,2 mm. Das ultraviolette Licht wird mit einer Analysenlampe erzeugt, deren Leuchtfaden in der Brennhöhe eines Zylinderhohlspiegels steht. JURGENS stellt dabei fest, daß ultraviolettes Licht von größerer Wellenlänge als 366 m $\mu$  vom Glas noch gut durchgelassen wird, spezielle Quarzlinsen braucht man also nur bei Arbeiten mit UV-Strahlen von kleineren Wellenlängen als 366 m $\mu$  (vgl. auch TRIVELLI und LINCKE [1]).

Das so hergestellte Filter absorbiert dann alle Lichtstrahlen außer den ultravioletten. Mit diesen allein wird also das Mikroskop und das Objekt beleuchtet. Damit die Strahlen zum Objekt gelangen, muß das Mikroskop statt eines normalen Spiegels mit einem total reflektierenden Quarzprisma oder dem UV-Spiegel der Firma BUSCH und statt des gewöhnlichen Kondensors mit einem Kondensor aus Quarz oder UV-Glas ausgerüstet sein. Die Objekte müssen auch hier auf Quarzobjektträgern oder auf Uviolglas liegen. Zum Eindecken wird man aber keine Quarzplättchen, sondern Deckgläser aus Euphosglas benutzen (H. LEHMANN [1], P. METZNER [4, S. 282]), das alle UV-Strahlen zurückhält und in UV-Licht nicht fluoresziert.

**139 Die Ausschaltung der UV-Strahlen.** Eine Hauptbedingung der Lumineszenzmikroskopie ist nämlich, daß keine UV-Strahlen in das Auge oder auf die photographische Platte gelangen und ferner, daß das Lumineszenzlicht, das vom Auge wahrgenommen wird, ausschließlich vom Objekt her stammt. Würde das Deckglas UV-Licht durchlassen, wie z. B. die Quarzplättchen, so würde erstens an den Glaslinsen der Objektive und Okulare (vor allem an den Kittstellen mit Kanadabalsam) Lumineszenz entstehen oder, falls man Monochromate mit Quarzlinsen benutzt, die UV-Strahlen in das Auge des Beobachters gelangen und dort in den Augenmedien Fluoreszenz erzeugen. Das zerstreute Licht, das man dadurch empfindet, wird dann natürlich die Lumineszenz des Objekts überdecken. Ebenso wird diese Erscheinung verdeckt, wenn das Deckglas selbst fluoresziert. Alle diese störenden Einflüsse werden in bester Weise mit den Euphosdeckgläsern ausgeschaltet. Die Strahlen dieses Lichts können ungehindert durch das Euphosglas in die Öffnung des Mikroskops fallen und dann zu einem objektgetreuen Bild vereinigt werden. Ein anderes Verfahren zur Verhinderung der nicht vom Objekt erzeugten Fluoreszenz besteht darin, daß man auf das Okular ein UV-Filter (Spekfilter der Firma BUSCH) legt (H. NAUMANN [5], G. KOEGL [4]) oder bei photographischen Aufnahmen knapp unterhalb der Platte eine mit 0,5proz. Triphenylmethanlösung (in 70proz. Alkohol) gefüllte Kuvette unterbringt (G. KOEGL [4]).

**140 Das abbildende System und die Objekte.** Da die abbildenden Strahlen größere Wellenlängen haben als die ultravioletten, kann man zur Abbildung die Glaslinsen benutzen. Das im Objekt erregte Fluoreszenzlicht ist nach seiner Stärke und Farbe für das Objekt oder die Struktur spezifisch. Die fluoreszierenden Stellen

erscheinen mehr oder weniger hell und farbig glanzend auf einem grauen oder dunklen Hintergrund. Anorganische Substanzen, z. B. eisen-, kupfer- oder schwefelhaltige Einschlüsse, dann eine Reihe von organischen Substanzen, wie lipide Stoffe, Chlorophyll, Hämoglobin und seine Derivate usw. erzeugen gut sichtbare Fluoreszenzbilder in typischen Farben. Je kleiner das Objekt ist, um so schwächer tritt die Fluoreszenz auf, denn diese nimmt mit der Schichtdicke sehr rasch ab. Andererseits wird die Abbildung um so schärfer, je dünner die Objektschicht ist. Von dickeren Objekten erhält man nur eine mangelhafte Abbildung wie bei sphärisch nicht korrigierten Objektiven. Man wird deshalb weder allzu dünne noch allzu dicke Präparate wählen und diese mit schwachen oder mittelstarken Objektiven untersuchen, bei denen die geringe Helligkeit der

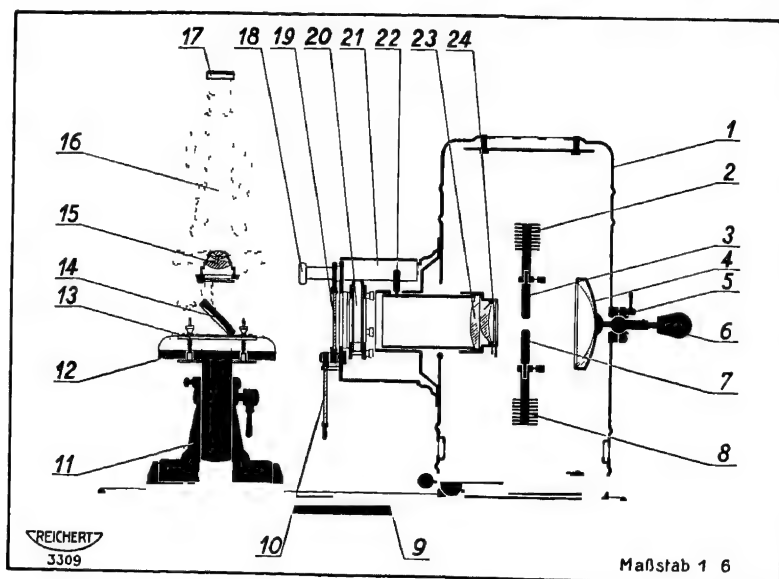


Abb. 195 Schema der gesamten Einrichtung zur Fluoreszenzmikroskopie

1 = Gehäuse, 2 = oberes Kuhlrohr, 3 = obere Elektrode, 4 = Reflektor, 5 = Kugelschleife, 6 = Handgriff, 7 = untere Elektrode, 8 = unteres Kuhlrohr, 9 = Grundplatte, 10 = Opalglasseite, 11 = Mikroskopsackel, 12 = Mikroskopgrundplatte, 13 = Klemmvorrichtung, 14 = Mikroskopspiegel, 15 = Hell-Dunkelkondensor, 16 = Mikroskop, 17 = Okularsperrfilter, 18 = Periskopspiegel, 19 = Schwarzglasfilter, 20 = Filterkuvette, 21 = Beleuchtungsstützen, 22, 23 = Kollektor, 24 = Schutzglas. (Aus K. REICHERT [2, Abb. 3].)

Beleuchtung weniger stört als bei starken Systemen. Zu stärkeren Vergrößerungen eignen sich Immersionssysteme am besten. Bei Immersionsobjektiven empfiehlt sich, auch zwischen Kondensor und Objektträger eine untere Immersion herzustellen. Während aber zur oberen Immersion Zedernöl ebenso gut wie Wasser oder Glycerin verwendet werden kann, kommt als untere Immersion auch hier, wie in der UV-Mikrophotographie, das Zedernöl nicht in Betracht, da es die UV-Strahlen, die im Objekt die Lumineszenz erzeugen sollen, zurückhalten würde. Man benutzt also zu diesem Zweck Wasser oder Glycerin.

Bei Untersuchungen mit schwachen Vergrößerungen erzielt man vorteilhaft eine Dunkelfeldbeleuchtung mit Zentralblenden, welche die Mitte des Kondensors abschirmen (H. NAUMANN [5]). Wie schon erwähnt, erhält man aber bei stärkeren Vergrößerungen ohne Abschirmung der zentralen Strahlen ebenfalls einen dunkleren, wenn auch nicht tiefschwarzen Hintergrund infolge der sehr geringen Lichtwirkungen in den zur Lumineszenz nicht angeregten Teilen des Objekts. Die Einrichtung zur Lumineszenzmikroskopie wurde zuerst von

HEIMSTEDT (1) und dann von LEHMANN (1) angegeben, nachdem A KOHLER bei der Ausarbeitung der Methodik der Ultraviolett-mikroskopie die in UV-Licht auftretenden Lumineszenzerscheinungen genau untersucht hatte. Mit dieser Methode haben sich außer den schon Genannten STUBEL (1), SORGENFREI (1) (tierische Gewebe), WASICKY (1) (Drogen), v PROWACEK (1) (Mikroorganismen), W LENZ (1) (Mikrochemie), TROTHANDL (1) (Bakteriologie), WILSCHKE (1) und NOAK (1, 2) (Botanik), besonders eingehend G KOEGL (2, 3, 4) (Mikrochemie) und P METZNER (1, 5, 7) (Botanik) befaßt. Von G KOEGL stammt auch die Methode der Fluoreszenzmikroskopie in auffallendem Licht, und zwar mit Hilfe eines LIEBERKUHNSchen Spiegels, der, wie KOEGL festgestellt hat, die UV-Strahlen vorzüglich reflektiert. Noch besser eignet sich dazu nach P METZNER (6) ein Paraboloidspiegel an Stelle des LIEBERKUHNSchen Spiegels. Mit dem Spiegellumineszenzmikroskop nach G KOEGL lassen sich an opaken Objekten in Lumineszenzlicht weitvolle mikrochemische Untersuchungen durchführen (Fluoreszenzanalyse nach G KOEGL). Vielfach und eingehend wurde die Lumineszenzanalyse auf mikrochemischem Gebiet von P W DANCKWORTT (1) und seinen Mitarbeitern angewandt, wobei zur Erzeugung des filterten ultravioletten Lichts die Quecksilberanalysenlampe der Hanauei Quarzlampengesellschaft verwendet wurde.

**141. Die Fluoreszenzmikroskope** Neuerdings (1931) hat M HAITINGER (1) eine Anordnung für ein lichtstarkes Fluoreszenzmikroskop angegeben, das von der Firma C REICHERT, Wien, gebaut wird (Abb 195).

Nach den mikroskopischen Aufnahmen von HAITINGER beurteilt (Abb 196), ist mit dieser Einrichtung tatsächlich ein Fluoreszenzmikroskop geschaffen worden, bei welchem die Lichtstärke der Lumineszenzbilder Aufnahmen auch bei normalen kurzen Belichtungszeiten gestattet. Als Lichtquelle wird eine Reflektorbogenlampe mit Eisenelektroden verwendet, wo das ruhige Brennen der Lampe durch Kühlung und das prompte Zünden durch eine Dochtfüllung in der zentralen Bohrung der Elektroden gesichert werden konnte. Das Licht wird dann mit einer Kondensorlinse aus Quarz konvergent gemacht und durch ein UV-Filter aus Kupfersulfatlösung (in einer Schwarzglaskuvette) filtert. Die Strahlen fallen bei Untersuchungen in durchfallendem Licht unmittelbar auf den Mikroskopspiegel der vorteilhaft aus ultraviolett-durchlässigem Glas mit einem das UV-Licht besonders gut reflektierenden chromierten Eisenbelag hergestellt werden kann. Für Untersuchungen in auffallendem Licht gelangen die Strahlen auf ein Periskopspiegelsystem und vom oberen Spiegel dieses Systems auf das Objekt. In durchfallendem Licht erfolgt die Beleuchtung des Objekts durch einen Hell-Dunkelfeldkondensor aus Quarz, wodurch die Kontraste im Lumineszenzbild gesteigert und die Möglichkeit, daß UV-Strahlen in das abbildende System gelangen, stark



Abb 196. Blattstängel, quer. Fluoreszenzaufnahme.  
REICHERT-Obj. Apochrom 16 mm, komp. Ok. 4 Vergr. 45fach.  
Belichtung 2 Min. (Aus M. HAITINGER [1, Fig. 2]).

verringert wird. Immerhin ist auch hier der Sperrfilter am Okular bei photographischen Aufnahmen unbedingt notwendig. Als Sperrfilter verwendet HAITINGER ein kombiniertes Filter, das die ultraviolette Wellenbereiche zwischen 300 und 400  $m\mu$  zurückhält. Was die Herstellung der Präparate anbelangt, empfiehlt HAITINGER Glyzein und Paraffinum liquidum purissimum als Einschlußmittel und bemerkt, daß man Dauerpräparate vorteilhafter im Dunkeln aufbewahren soll, da die Fluoreszenz, namentlich die des Chlorophylls, unter der Einwirkung des Lichtes leidet.

Eine von den bisher beschriebenen etwas abweichende Methode der Lumineszenzmikroskopie stammt von POLICARD, der statt der UV-Strahlen des Kohlenbogenlichts die Fluoreszenz mit dem sog. WOOD-Licht<sup>1</sup> im Objekt erregt (ausführliche Schilderung der Methodik bei HADJIOLOFF [1]). Diese Strahlen haben eine größere Wellenlänge ( $\lambda = 360 m\mu$ ) als die üblichen ultravioletten und sind für Gewebezellen vollkommen unschädlich (vgl. dazu JURGENS [1] und TRIVELTI u. LINCKE [1]). Auch soll die von ihnen erregte Fluoreszenz lichtstärker sein als im UV-Licht. In WOOD-Licht haben POLICARD (1), DERRIEN u. TURCHINI (1), BEER (1) u. a. hauptsächlich die Fluoreszenz von tierischen Geweben in frischem Zustand oder nach Mikroveraschung in durchfallendem und auffallendem Licht untersucht.

Die photographischen Aufnahmen können sowohl mit kleinen Vertikal-kammern wie auch mit den Aufsatzkammern erfolgen. Die letzteren sind unbedingt vorzuziehen, weil die scharfe Einstellung des lichtschwachen Bildes durch die seitliche Beobachtung bedeutend leichter ist als auf der Spiegelglasscheibe mit der Einstellupe. Benutzt man eine Balgkammer, so wird man in Anbetracht der geringen Lichtstärke des Lumineszenzbildes nur einen kurzen Balgauszug und schwache Okulare verwenden. Auch so wird man mit verhältnismäßig langen Belichtungszeiten rechnen müssen, wenn man keine Reflektorbogenlampe mit Eisenelektroden benutzt. Die Farbenphotographie, die sich zur Wiedergabe der Lumineszenzerscheinungen am besten eignen würde, ist bisher nicht angewandt worden, vor allem deshalb nicht, weil man die zu solchen Aufnahmen notwendigen Filter (s. dieses Handbuch VIII, S. 135 ff.) in den Strahlengang nicht gut einschalten kann. Zwischen Objekt und Lichtquelle (in den ultravioletten Strahlengang) darf man keine weiteren Filter einschalten (H. NAUMANN [5]), zwischen Objekt und Bildebene ist wiederum kein geeigneter Platz zur Unterbringung des Filters. Selbst wenn man im Tubus oder oberhalb des Okulars die vorgeschriebenen Kompensationsfilter unterbringen konnte, würde die Aufnahme auf eine Rasterplatte (Autochromplatte u. a.) viel zu lange Belichtungszeiten erfordern. Zu der Schwarz-Weiß-Photographie eignen sich orthochromatische und panchromatische Platten mit hohen SCHEINER-Zahlen. Die Empfindlichkeit der Platten hat in der Methode der Fluoreszenzanalyse eine entscheidende Bedeutung (G. KOGEL [4]).

## IX. Die Mikrophotographie in infrarotem Licht.

Seit einigen Jahren wird in der Photographie auch das unsichtbare langwellige Gebiet des Spektrums, das Wellenbereich zwischen 690 und 740  $m\mu$  bei speziellen Untersuchungen mit Vorteil verwendet (s. JURGENS [1]). Das an roten Strahlen reiche Licht gewinnt man von einer Glühbune oder vom Strahl-

<sup>1</sup> Das WOOD-Licht wird mit einer Quarz-Halogenlampe erzeugt, deren Strahlen durch einen Filter aus Nickeloxydglass (WOOD) bis 1  $\mu$  zurückgehalten werden bis auf die Wellenlängen bei etwa 365  $m\mu$ , d. h. auf ein Gebiet, das knapp an der Grenze des sichtbaren Spektrums liegt, aber nicht mehr sichtbar ist.

korper einer elektrischen Heizlampe. Die Aufnahmen erfolgen auf eigens für Infrarot sensibilisierten Platten, so z. B. auf den im Handel befindlichen Agfa-Platten Infrarot-Rapid 730, Infrarot-Rapid 810 oder Infrarot-Hart 730<sup>1</sup>. Die infraroten Strahlen zeichnen sich durch ihr starkes Durchdringungsvermögen aus (s. P. KRAFT [1, 2]), sie können z. B. durch mehrere Lagen Papier noch durchdringen. Selbst bei makrophotographischen Aufnahmen auf stark sensibilisierten Platten dauert die Belichtung aber etwa 20mal länger als im Tageslicht.

Für histologische Zwecke haben 1927 E. CALZAVARA und I. BERTRAND (1) (vgl. auch BERTRAND und JUSTIN-BESANÇON [1, 2]) ein Verfahren ausgearbeitet, mit welchem sie scharfe und kontrastreiche Bilder von der Feinstruktur verschiedener Gewebe (Flimmerzellen, Nerven-, Nierengewebe) erhalten konnten. Das Verfahren besteht darin, daß die Schnitte mit einer Farbstofflösung aus Kryptocyanin gefärbt werden, die man zur Sensibilisierung der Platten auf rotes Licht zu verwenden pflegt. Die so erzielte Färbung wirkt also im Objekt wie ein selektives Filter, das in der Hauptsache diejenigen Strahlen zurückhält, auf welche die Platte am stärksten sensibilisiert ist.

Zum Verfahren eignen sich alle Fixierungsmittel, ausgenommen solche, welche Chromsäure oder Chromsalze enthalten (z. B. MÜLLER, FLEMMING, ZENKER usw.), die Bouinsche Lösung wird ausdrücklich empfohlen. Die Schnitte müssen ganz glatt aufgeklebt und dürfen nicht dicker sein als  $5\mu$ . Es kommt daher hauptsächlich nur die Paraffineinbettung in Betracht. Als Färbungsmittel verwendet man eine frisch bereitete Lösung von Kryptocyanin (1 : 2000) mit Ammoniakwasser, und zwar in einem Mischungsverhältnis von 1 : 2. Die Färbung erfolgt bei 50°, wobei der Objektträger mit dem Farbstoff bedeckt auf einem Heiztisch erwärmt wird, bis Dämpfe aufsteigen. Nach Waschen mit absolutem Alkohol und über Xylol in Kanadabalsam eingedeckt, erhält der Schnitt eine bläulich-grüne Farbe, die jahrelang unverändert bleibt, wenn die Präparate unter Lichtabschluß aufbewahrt werden. Zur Photographie eignen sich frisch gefärbte Präparate weitaus besser als die älteren. Zu beachten ist weiter, daß man möglichst dünne Objektträger und Deckgläser wählen soll. Von entscheidender Bedeutung ist dann — namentlich bei Anwendung von Immersionsapochromaten —, daß die Frontlinse auf das Deckglas keinen merklichen Druck ausübt. Selbst dort, wo der Druck der Frontlinse auf das Deckglas im normalen Licht keinerlei sichtbare Wirkungen zeigt, können im ultraroten Licht durch Schlierenbildungen im Balsam störende Erscheinungen auftreten. Bei der photographischen Aufnahme kommen nur Platten in Betracht, die in einer athylalkoholischen oder methylalkoholischen Lösung von Kryptocyanin sensibilisiert worden sind. Die Vorschrift für den Sensibilisator mit Athylalkohol ist: Athylalkohol 33% 1000 ccm, Kryptocyanin (1 : 2000) 5 ccm, die für den Sensibilisator mit Methylalkohol: Kryptocyanin (1 : 2000) in Methylalkohol 1 ccm, Wasser 500 ccm. Zum letzteren Sensibilisator gibt man tropfenweise 1proz. Essigsäure, bis die Lösung farblos wird. Die mit Athylalkohol vorbereiteten Platten trocknet man ohne Abwaschen 5 Minuten lang bei einem starken Ventilator. Die mit der methylalkoholischen Lösung behandelten Platten kommen erst in ein Bad von 2proz. Borax oder in eine Lösung von Ammoniak (28% Ammoniak 4 ccm, Wasser 100 ccm). Etwa 1 Minute müssen die Platten in diesem Bad verweilen und werden dann bei einem starken Ventilator getrocknet. Die Sensibilisierung der Platten erfolgt natürlich

<sup>1</sup> Die Zahlen geben das Sensibilisierungsmaximum in m $\mu$  an. M. CZERNY (1) hat nachgewiesen, daß man die Empfindlichkeit der Platten bis zur Wellenlänge 1  $\mu$  ausdehnen kann. Für die Mikrophotographie kommen auf längere Wellenlängen als 810 m $\mu$  sensibilisierte Platten praktisch nicht in Betracht, wohl aber für die Spektrophotographie.



bei vollständiger Dunkelheit. Die Aufnahmen erfordern eine lange Belichtungszeit (45 Sekunden bis 15 Minuten). Die Präparate müssen daher am Mikroskopisch gut befestigt sein, auch muß die Einrichtung vollkommen erschütterungsfrei aufgestellt werden. Die genaue scharfe Einstellung läßt sich nur empirisch erzielen, da zwischen dem in weißem Licht sichtbaren und dem infraroten Bild eine deutliche Fokusedifferenz vorhanden ist. Im allgemeinen stellt man  $1\mu$  höher ein als im weißen Licht. Als Filter haben BERTRAND und seine Mitarbeiter die WRATTEN-Filter 88, 88A und 87 verwendet, die das Spektrum bis zu den Wellenlängen 690, 720 und 740 abblenden. Die Entwicklung und Fixierung erfolgen bei vollem Lichtabschluß. Man ist deshalb auf gleichmäßig arbeitende Entwickler angewiesen. Sowohl die Fixierung wie das Waschen sollen lange dauern. Die Bilder, die man mit diesem Verfahren erhält, zeichnen sich auch



Abb 197. Mikrophotographie in infrarotem Licht  
Nierenkanälchen der Lurchse (*Lacerta viridis*) mit Bürstensaum  
(Originalaufnahme von I. BERTRAND).

bei sehr starken Vergrößerungen durch ihre ausgeprägten Kontraste aus. Ihre graphische Wirkung läßt sich am besten mit Aufnahmen von einwandfreien Eisenhamatoxylinpräparaten vergleichen. Das Verfahren wurde bisher von I. BERTRAND und seinen Mitarbeitern, ferner in der Paläontologie von P. KRAFT [1, 2] angewandt. Aus den Abbildungen von I. BERTRAND (Abb. 197) gewinnt man den Eindruck, daß die Feinstrukturen — selbst bei stärksten Vergrößerungen — scharfer und klarer zum Ausdruck gelangen als sonst bei Aufnahmen in weißem Licht mit entsprechenden Lichtfiltern. Vor allem erscheinen die Zellen durchsichtiger, was auf

die selektive Wirkung der mit Kryptocyanin gefärbten Strukturen zurückzuführen ist. Immerhin stammen die so gewonnenen Bilder von fixierten und gefärbten Präparaten, und diese lassen sich bei geeigneter Färbung und richtiger Beleuchtung vorzüglich photographieren, namentlich wenn die Schnitte so dünn sind, wie BERTRAND es für sein Verfahren vorschreibt. Ganz andere Bedeutung hat also die UV-Photographie, mit deren Hilfe man von ungetriebenen, lebenden Objekten so scharfe und kontrastreiche Bilder erhalten kann wie von dünnen, selektiv gefärbten Schnittpräparaten. Auch wird bei der UV-Photographie das Auflösungsvermögen des Mikroskops stark gefordert, was bei der infraroten Mikrophotographie keineswegs der Fall ist. Allerdings kann die Grenze der erforderlichen Vergrößerung auch bei infraroten Aufnahmen etwas überschritten werden, aber nur deshalb, weil durch die selektive Filterwirkung die gefärbten Strukturen so kontrastreich erscheinen, daß hier das mikroskopische Bild eine stärkere Übervergrößerung verträgt als die im weißen Licht erzeugten. Die infrarote Mikrophotographie stellt also eine sinnreiche Methode der Beleuchtung dar mit einem engbegrenzten Wellenbereich, wobei das Filter unmittelbar

in den bilderzeugenden Strukturen liegt, und die zurückgehaltenen Strahlen genau den Wellenlangen entsprechen, für welche die Platten sensibilisiert sind. Außerdem durchdringen die infraroten Strahlen (Wärmestrahlen) Hartgebilde, wie Chitin, fossile Sedimente und sonstige dunkle Objekte der Geologie oder Palaontologie weit besser als die Strahlen des sichtbaren oder des ultravioletten Lichtes. Wie P. KRAFT (1, 2) es festgestellt hat, haben sie bei solchen mikroskopischen Objekten ein Durchdringungsvermögen, das etwa den Röntgenstrahlen ähnlich ist. Dadurch, daß die geeigneten sensibilisierten Platten schon fertig im Handel erhältlich sind (s. S. 313) und man über gute Infrarotfilter verfügt (so außer dem genannten WRATTEN-Filter ist der Infrarotfilter nach KRAFT von der Firma C. ZEISS überall leicht beziehbar), wird die Ausübung der Methode wesentlich vereinfacht.

## X. Die Mikroradiographie.

Seit den Anfängen der Röntgenologie hat es nicht an Versuchen gefehlt, auch Strahlen mit bedeutend geringeren Wellenlangen als das ultraviolette Licht zur Erzeugung mikroskopischer Bilder anzuwenden (vgl. RADIGUET [1], BARNARD [3]). Obzwar schon im Jahre 1913 P. GOBY (1) eine Vorkehrung und eine Methode zur Mikrophotographie mit Röntgenstrahlen angegeben hat, konnte bis jetzt die Mikroradiographie keine allgemeine Verwendung finden, weil bei allen bisher angegebenen Methoden das vergrößerte Bild des Objekts nur durch die Vergrößerung des Röntgenbildes und nicht durch die vergrößerte Abbildung des Objekts zu erhalten ist. Wenn auch begreiflicherweise nur im letzteren Falle die gewünschte Steigerung des Auflösungsvermögens erzielt werden konnte, hat dennoch die Mikroradiographie selbst in ihrer heutigen Form vielerlei Vorteile und kann, wie P. METZNER (2, 4) es angibt, recht vielseitige Anwendung finden.

P. METZNER (2) benutzt zu den mikroradiographischen Aufnahmen eine kleine Röntgenröhre (10 cm Kugeldurchmesser und Osmoregulierung), als Stromquelle einen Universalinduktor mit einer Funkenlänge von etwa 9 cm. Auch andere größere oder kleinere Röntgenröhren mit der zugehörigen Einrichtung können ebensogut verwendet werden. Zu beachten ist jedoch, daß die Röntgenröhre mit einem passenden Stativ so aufgestellt wird, daß das Strahlenzentrum genau senkrecht nach unten auf das Objekt falle. Ist nämlich die Strahlung nicht genau senkrecht auf das Objekt ausgerichtet, so erhält man verzernte Schattenbilder. Um dies zu vermeiden, stellt METZNER das Objekt auf den Boden eines mit Bleiblech belegten Holzrahmens. Die obere Wand des Rahmens trägt ein 15 cm langes und 3 cm breites Kupferrohr (Wanddicke 2 mm), unter welchem das Objekt sich befindet. Die obere Öffnung des Kupferrohres ist von einer Blende aus Holz und doppelter Bleiauflage eingenommen, so daß die Röntgenstrahlen nur durch die Öffnung dieser Blende in Form eines schmalen Bündels zum Objekt gelangen können. Von Fall zu Fall muß die Größe der Blendenoöffnung bestimmt werden. METZNER hat bei seinen Aufnahmen meistens eine Öffnung von 5 mm Durchmesser benutzt.

Der Strahlengang wird genau senkrecht nach unten mit Hilfe eines Leuchtschumes eingestellt. Der kleine quadratische Leuchtschirm trägt in der Mitte eine Kreisscheibe aus schwarzem Papier, und legt man den Leuchtschirm unter dem Kupferrohr auf den Boden des Holzrahmens, so wird man im verdunkelten Zimmer während der Tätigkeit der Röntgenröhre das Leuchten des Schumes um die Kreisscheibe kaum bemerken. Der Rahmen muß nun so eingestellt werden, daß die schwarze Kreisscheibe ringsum von einem gleich breiten und gleichmäßig leuchtenden Ring umgeben sei. Ist das geschehen, so entfernt man den Leucht-

schirm und legt das Objekt auf eine kleine photographische Platte, welche entweder frei (bei Aufnahmen in verdunkeltem Raum) oder in einer improvisierten Kassette genau auf die Stelle gebracht wird, wo die Kreisscheibe des Leuchtschirms lag. Man muß feinkörnige Platten wählen, da die Bilder nachträglich stark vergrößert werden. Die empfindlicheren und dementsprechend grobkörnigen Spezialplatten der Röntgenologie sind daher nicht gut zu gebrauchen. METZNER hat photomechanische Graphosplatten benutzt, und zwar das Format  $6 \times 9 \text{ cm}^2$  in vier gleiche Teile zerschnitten. Die Belichtungszeit hat 3–5 Minuten betragen.

Mit diesem Verfahren hat METZNER von Schneckengehäusen, Foraminiferenschalen, Chitinskeletten Aufnahmen und sogar stereoskopische Bilder erzielt, die dann weiter vergrößert wurden. Er empfiehlt die Methode bei Untersuchungen an kleinen undurchsichtigen Objekten, bei denen von Natur aus große Dichteunterschiede vorhanden sind. Man kann aber ebenso gut wie in der Makroradiologie, durch Kontrastmittel, wie Wismutbrei, solche Dichteunterschiede erzeugen, indem man die Hohlräume, Gedärme, Gefäße oder Spaltensysteme des Objekts mit dem Kontrastmittel ausfüllt.

In letzter Zeit (1930) hat A. DAUVILLIER (1) eine auch auf Schnittpreparate anwendbare mikroskopische Methode beschrieben. Das Verfahren besteht im wesentlichen darin, daß man dünne Gewebeschnitte ( $1\text{--}5 \mu$ ) auf die Schicht photographischer Platten — wie auf Objektträger — aufklebt, sie mit Röntgenstrahlen durchleuchtet und das auf der Platte so enthaltene Bild dann weiter vergrößert. Dazu benötigt man erstens spezielle Plattensorten mit feingekornelter Schicht (nach LIPPMANN), die den Röntgenstrahlen gegenüber etwa 1000mal weniger empfindlich sind als die gewöhnlichen grobkörnigen Platten. Dann benutzt man zur Bestrahlung eine von DAUVILLIER konstruierte Röntgenröhre, die mit vier Fensterchen aus dünnen Aluminiumfolien ( $5 \mu$ ) ausgerüstet ist. Mit diesen Fensterchen stehen die Kassetten in Verbindung, die ihrerseits luftleer gemacht oder mit Wasserstoff gefüllt werden müssen. Zur Bestrahlung eignen sich weiche Röntgenstrahlen besser als die harten. Als Beispiel eines solchen Mikroradiogramms zeigt DAUVILLIER eine Abbildung von einem Schnitt aus dem Knochenmark bei 600facher Vergrößerung. Selbstverständlich muß der Schnitt von der Platte vor der Entwicklung abgelöst werden. Bei der Vergrößerung stört die Kornelung der Schicht fast nicht, die Dichte der Schwarzung muß aber durch einen Silberverstärker gesteigert werden, um brauchbare vergrößerte Bilder zu erhalten.

Anschließend an die Mikroradiographie sei auch von einigen Versuchen berichtet, bei denen man nach dem Verfahren von RUSSEL (1907) rein durch die Kontaktwirkung der Objekte Schwarzung der photographischen Platte und dementsprechend Bilder erzielt hat. Es handelt sich dabei gewissermaßen um eine Photographie im Dunkeln (MAZURKIEWICZ und BUKOWIECKI [1]), die mit der Mikroradiographie insofern Ähnlichkeit zeigt, daß man auch hier die so erhaltenen Bilder auf der Platte nachträglich vergrößert. Mit einem solchen Verfahren haben G. WOLFF (1) vom Schmetterlingsflügel, MAZURKIEWICZ und BUKOWIECKI von pflanzlichen Geweben Photogramme erhalten im Hinblick auf die Lokalisation photoaktiver Stoffe innerhalb der betreffenden Strukturen.

## B. Die Objekte der biologischen Forschung und ihre mikrophotographische Darstellung<sup>1</sup>.

In den vorangegangenen Kapiteln war der Stoff nach der Eigenart der bei den Aufnahmen benutzten Linsen eingeteilt und behandelt worden. In dem Folgenden soll jetzt untersucht werden, welche besonderen Forderungen die verschiedenen Objekte der biologischen Forschung stellen, und in welcher Form die Mikrophotographie diesen am besten entsprechen kann. Bei der Wahl der mikrophotographischen Mittel werden natürlich jene optischen Eigenschaften des Objektes ausschlaggebend sein, von denen die graphische Wirkung des mikroskopischen und mikrophotographischen Bildes abhängig ist. An einer früheren Stelle (s. S. 25) sind die Unterschiede schon hervorgehoben worden, welche diesbezüglich zwischen den lebensfrischen Objekten und den fixierten Dauerpräparaten feststellbar sind. Dementsprechend soll auch hier die Mikrophotographie lebender oder lebensfrischer Objekte und die der fixierten Dauerpräparate gesondert behandelt werden.

## XI. Die Mikrophotographie im Dienste der mikroskopischen Lebendbeobachtung.

Eine der wichtigsten Aufgaben des mikrophotographischen Verfahrens ist die Abbildung lebender (lebensfrischer) Objekte, denn bei diesen läßt sich eine vollkommen objektive und objektähnliche Wiedergabe des im Mikroskop beobachteten Bildes mit keinem anderen Verfahren erzielen. Die Schwierigkeiten jedoch, die man zu überwinden hat, bis man die gewünschte scharfe und kontrastreiche Aufnahme erhält, sind gerade bei den lebenden Objekten am größten. Die Kontraste sind in der Hauptsache von Brechungsinterferenzen, seltener von Beugungsinterferenzen (z. B. bei den periodischen Strukturen der Diatomeenschalen, Chitinegebilden, Fibrillenstrukturen usw.) und nur ausnahmsweise durch selektive Lichtabsorption (bei pigmenthaltigen pflanzlichen und tierischen Zellen) bedingt. Die Brechungsunterschiede zwischen der abzubildenden Struktur und ihrer Umgebung sind aber bei biologischen Objekten häufig sehr gering, namentlich innerhalb der lebenden Zellen. Bilder mit guten Kontrasten, wo die Strukturen sich deutlich vom Hintergrund abheben, wird man also nur bei einer der optischen Natur des Objekts genau angepaßten Beleuchtung und oft nur mit besonderen Beleuchtungsarten erzielen. Bekanntlich werden die Interferenzbilder (Strukturbilder im Sinne von ABBE) bei einer Beleuchtung mit schmalen, zentralen Lichtbündeln deutlicher. So pflegt man dementsprechend nichtfixierte und ungefärbte Präparate mit eng zugezogener Irisblende zu beobachten und auch zu photographieren (s. S. 23).

**142 Die Frage der optischen Auflösung.** Zur richtigen mikrophotographischen Darstellung der lebenden Objekte genügt jedoch die starke Einengung der Aperturblende allein, wie sie oft schematisch vorgenommen wird, noch keineswegs. Man muß vor allem die Frage beantworten, wie die richtige Auflösung der darzustellenden Strukturen am besten und am zweckmäßigsten erreichbar ist.

Die Auflösung der im lebenden Zustand sichtbaren mikroskopischen Strukturen erfordert keine allzu hohen Aperturen dort, wo es sich nur um die Abbildung der äußeren Form handelt oder um solche Strukturelemente, deren Abstand voneinander in  $\mu$  meßbar ist. Die nötige optische Auflösung erreicht man hier

<sup>1</sup> Vgl. Fußnote auf S. 25.

schon mit Objektivsystemen von mittelstarken Aperturen (etwa bis num Ap 0,95) Kommt man mit diesen im Hellfeld nicht zum Ziel, so werden auch die Objektive mit stärkeren Aperturen wenig nutzen, denn die schlechte Sichtbarkeit oder vollige Unsichtbarkeit ruht in diesen Fällen nicht von der ungenügenden Auflösung her, sondern von den allzu geringen Brechungsunterschieden und den dadurch bedingten schwachen Kontrasten. So wird man in lebenden Zellen auch mit den stärksten Apochromaten die aus fixierten Präparaten bekannte Struktur des Zellkerns, das Zytozentrum oder die Nervenfibullen nicht darstellen können, entweder weil solche in lebendem Zustand überhaupt nicht vorhanden sind, oder weil ihre Lichtbrechung mit der des Zytoplasmas fast vollständig übereinstimmt. Sind aber bemerkbare Brechungsunterschiede zwischen den Strukturelementen und ihrer Umgebung vorhanden, wie das z. B. bei den Mitochondrien der lebenden Zellen der Fall ist, so braucht man zur optischen Auflösung solcher Strukturen nicht die stärksten Apochromate, die man zur Beobachtung derselben in fixiertem und gefärbtem Zustande zu benutzen pflegt. Soweit man ein scharfes Bild von lebenden Strukturen dieser Art



Abb. 198. Quergestreifte Insektenmuskelfaser. Zupipräparat. Hom. Imm. Zliss 60fach num. Ap. 0,85, Phoku, Kondensor 1,4 ohne Frontlinse, Irisblende bei 20.

im Hellfeld überhaupt erhalten kann, wird man es auch mit Objektiven von mittelstarken Aperturen erhalten (z. B. mit num. Ap. 0,85), und zwar meistens schärfer und kontrastreicher als mit den stärksten Aperturen (z. B. num. Ap. 1,3 oder 1,4). Vielfach, aber nicht immer und überall, erhält man kontrastreiche Abbildungen solcher Strukturen mit der Dunkelfeldbeleuchtung, und zwar, wie auf S. 212 schon bemerkt wurde, nicht infolge der stärkeren Auflösung, sondern dank der besseren Kontrastwirkung im Dunkelfeld. Die Vorteile des ultravioletten Lichtes beruhen ebenfalls in den meisten Fällen bei der Abbildung solcher im Bereich der mikroskopischen Größenordnung befindlichen lebenden Strukturen nicht allein auf

der stärkeren Auflösung, sondern in demselben Maß auf den Folgen der starker ausgeprägten selektiven Absorption der UV-Strahlen (s. S. 307).

Es gibt natürlich eine Reihe von Objekten, welche auch in nicht gefärbtem und unfixiertem Zustand feinste periodische Strukturen aufweisen, zu deren optischen Auflösung die stärksten Apochromate notwendig sind. Außer den schon mehrfach erwähnten Diatomeenschalen, Schmetterlingsschuppen und ähnlichen Strukturen in pflanzlichen oder tierischen Hartsubstanzen begegnet man solchen in typischer Form in der Querstreifung der Muskelfaser (Abb. 198) oder bei den Flimmerhaaren und Geißeln der Bakterien und Protisten. Hier, wie überall, wo der Abstand zwischen den einzelnen Strukturelementen etwa  $1\mu$  oder kleiner als  $1\mu$  ist (so z. B. auch zwischen den Chromosomen in der Äquatorialplatte sich teilender Zellen), läßt sich die richtige optische Auflösung nur bei stärksten Aperturen erzielen sowohl im Hellfeld wie im Dunkelfeld oder im UV-Licht.

Sind nun die Zwischenräume in der optisch aufzulösenden Struktur von submikroskopischer Größenordnung, so ist man zwangsläufig auf die Ultramikroskopie angewiesen (s. S. 200).

Die geeignetste Art der mikrophotographischen Abbildung hängt also bei den lebenden Objekten vielfach von der Größenordnung dieser Objekte und der darzustellenden Strukturen ab. In den meisten Fällen wird man, wie schon erwähnt, es mit Strukturen zu tun haben, deren optische Auflösung im Hellfeld schon bei mittelstarken Aperturen erreichbar ist (mit ganzen Zellen, Zellver-

banden, Fasern usw.), oder aber mit solchen, die nur ultramikroskopisch sichtbar sind (der kolloiden Struktur des Protoplasma, den Feinstrukturen der Bakterien und Mikroorganismen). Seltener wird man Gelegenheit haben, in den lebenden Objekten Strukturen abzubilden, die sich an der Grenze der mikroskopischen Sichtbarkeit befinden, denn die lebenden Zellen enthalten nur ausnahmsweise Feinstrukturen, welche durch ihre stärkere Lichtbrechung hervortreten. Die schon angeführten Beispiele (Diatomeenschalen, Flimmerhaare usw.) dürften so ziemlich alle in diese Kategorie gehörenden Objekte umfassen.

**143. Das Vergrößerungsmaß.** Außer der Frage der Auflösung hat auch das Vergrößerungsmaß einen entscheidenden Einfluß auf die Bildscharfe und die Kontrastwirkung der Mikrophotogramme bei den lebenden Objekten. Begreiflicherweise spielt dieser Faktor nur bei Strukturen von mikroskopischer Größenordnung, die auch im Hellfeld schon gut auflösbar sind, eine maßgebende Rolle. Hier wird man stets die Erfahrung machen, daß die verhältnismäßig schwächeren Objektive scharfere und vor allem kontrastreichere Bilder ergeben als die stärkeren. Man wird z. B. von der Form einer Protistenzelle oder einer isolierten Muskelfaser ein plastischeres Bild mit einem Objektiv von längerer Brennweite und größerer Tiefschärfe erhalten als mit einem solchen von kürzerer Brennweite und geringerer Tiefschärfe. Die günstigeren Kontraste im Bild sind wiederum darauf zurückzuführen, daß die schwachen Objektive ein stark beleuchtetes Gesichtsfeld liefern, bei dem man die Aperturblende erheblich einengen und so den Kontrast zwischen dem Hintergrund und den Grenzlinien wesentlich steigern kann. Hat man also bei der Aufnahme die Wahl zwischen einem schwächeren und einem stärkeren Objektiv, so wähle man stets das schwächere und trachte dann, durch die Bildvergrößerung das Bild, wenn nötig, weiter zu vergrößern (mit einem stärkeren Okular, mit längerem Kameraauszug oder durch Vergrößerung beim Kopieren). Ein Beispiel möge dieses noch besser erläutern: eine größere Amöbenart (*Amoeba verrucosa*, *dubia* oder *sphaeroneucl*) soll abgebildet werden. Mit dem Abbildungssystem Objektiv 8fach und Okular 10fach wird man alle in der lebenden Zelle unterscheidbaren Strukturelemente: den Kern mit dem Karyosom, die Vakuolen, das Ekto- und das Entoplasma wie auch die Zellfortsätze gut wahrnehmen können. Noch besser, da stärker vergrößert, werden diese Bestandteile der Zelle mit dem Objektiv 20fach und Okular 10fach sichtbar. Kommt es aber auf die genauere Beobachtung der Kernstruktur oder Kornelung im Zytoplasma an, so stellt man mit dem Objektiv 40fach und dem Okular 10fach ein. Die Frage ist nun, wie weit diese Linsenfolgen bei der mikrophotographischen Aufnahme beizubehalten sind oder nicht. Vorausgesetzt, daß es sich dabei nicht gerade um Strukturfeinheiten handelt, welche nur mit dem Objektiv 40fach sichtbar werden, sondern um das Vergrößerungsmaß 400fach oder 200fach, so wird man bei der Aufnahme vorteilhafter die Linsenfolge Objektiv 20fach mit Okular 15fach (statt Objektiv 40fach, Okular 10fach) oder Objektiv 10fach mit Okular 15fach (statt Objektiv 20fach, Okular 10fach) und die entsprechende Kammerlänge wählen.

Wie einem jeden Zytologen bekannt ist, sind in zahlreichen Fällen die darzustellenden Strukturen nur bei bestimmten Linsenfolgen gut sichtbar, und daran läßt sich auch bei der mikrophotographischen Aufnahme kaum etwas ändern. Solchen Fällen begegnet man jedoch fast ausnahmslos in der Kategorie der Strukturen, die an der Grenze der mikroskopischen Sichtbarkeit liegen. Bei diesen ist man selbstverständlich an die stärksten Objektive gebunden. Von diesen abgesehen soll man aber in der Mikrophotographie lebender Objekte möglichst die Regel beachten, daß man die Aufnahme bei dem schwächsten Objektiv ausführen soll, welches die darzustellende Struktur noch deutlich sichtbar

macht. Besonders wichtig ist diese Regel bei der photographischen Abbildung von Zellen und Geweben, die sich von dem Medium, in dem sie untergebracht sind, nur schwach abheben. Solche werden wir in den Gewebekulturen noch näher kennenlernen und auf die Bedeutung der schwächeren Objektive in diesem Zusammenhang noch zurückkommen (s. S. 339)<sup>1</sup>

**144. Die Form und Art der Präparate.** Die weiteren Bedingungen für die graphisch wirksame Abbildung sind in der Hauptsache von der Form und der Art der Präparate abhängig. Was die Form der Präparate anbelangt, so kann man zwei Gruppen hier abgrenzen:

1. solche, bei denen die Objekte in der üblichen Form der mikroskopischen Präparate zwischen Tragglass und Deckglas in einer dünnen planparallelen Schicht liegen, und

2. bei denen die Objektschicht entweder nicht planparallel oder nicht so dünn ist wie sonst (hängende Tropfen, Flüssigkeiten in Uhrgläschen usw.).

Die erste Form wird als natives Präparat bezeichnet und enthält lebensfrische oder lebende Objekte ohne vorherige mikrotechnische Behandlung in einem physiologischen Einschlußmittel (s. a. S. 25). Bei dieser Form wird die Abbildung von der Objektschicht nur in der Weise beeinflusst, wie das bei den mikroskopischen Präparaten allgemein der Fall ist (s. S. 33). Ist die Schicht dünn, so werden dann auch die Objekte so dünn sein, daß sie auch mit Objektiven von höheren Aperturen und geringer Tiefenschärfe gut abgebildet werden, jedenfalls nicht schlechter als in Dauerpräparaten von ähnlicher Schichthöhe (30–50  $\mu$ ). Ist aber die Schichthöhe größer, wie das bei nativen Präparaten aus Suspensionen von größeren Zellen (lebenden Protisten oder Eizellen) meistens der Fall ist, so treten unvermeidliche optische Störungen auf, welche in der mikrophotographischen Aufnahme weit ungünstiger wirken als bei der subjektiven Beobachtung. Zunächst wird die Korrektur des abbildenden Systems durch die anormale Schichthöhe ungünstig beeinflusst (vgl. S. 33), und man erhält bei sonst einwandfreier Linse keine scharfen Grenzlinien. Dann pflegen in solchen Präparaten die Objekte je nach ihren biologischen Eigenschaften oder ihrem spezifischen Gewicht in verschiedenen Höhen (Tiefen) sich zu lagern, selbst dann, wenn sie sonst unbeweglich sind (über Objekte mit eigener Bewegung s. S. 344 ff.). Bei dieser Schichtung sammeln sich bestimmte Körnchen, Zellen und ähnliches näher an der Deck-

<sup>1</sup> Es ist ein allgemeiner und begreiflicher Fehler der meisten Zytologen, welche sich mit der Mikrophotographie lebender Objekte nicht eingehender betätigt haben, daß sie in den Fällen, wo ihr Untersuchungsobjekt *in vivo* photographisch dargestellt werden soll, die Linsenfolgen beizubehalten wünschen, mit denen sie bei der subjektiven Beobachtung die günstigsten Bilder erzielt haben. Diese Linsenfolgen bestehen fast allgemein aus einem Objektiv, dessen Apertur weit höher ist als zur Auflösung der *in vivo* sichtbaren Strukturen erforderlich und einem schwächeren Okular. Zur subjektiven Beobachtung ist eine solche Linsenfolge tatsächlich besser geeignet als umgekehrt ein schwächeres Objektiv und ein stärkeres Okular, und zwar deshalb, weil man so bei derselben Vergrößerung ein lichtstärkeres Bild erhält. Man hat auch nicht die Unbequemlichkeit einer Schlusellochbeobachtung, die bei stärkeren Okularen öfters aufzutreten pflegt. Die Mängel der geringeren Tiefenschärfe werden kaum empfunden, da man hintereinander mehrere optische Ebenen scharf einstellen und ein subjektiv scharfes Bild aus mehreren Einstellungen rekonstruieren kann. Das ist es aber eben, was man bei der photographischen Aufnahme nicht tun kann, und deshalb erhält man dann so oft von den lebenden Objekten bei einer Linsenfolge, an die man von der subjektiven Beobachtung her gewöhnt ist, unbefriedigende, weil unscharfe und kontrastarme Lichtbilder. Oft plagt man sich dann lange Zeit mit verschiedenen Beleuchtungsarten und Beleuchtungszeiten umsonst, bis man die speziellen Bedingungen und auch die speziellen Möglichkeiten für die Mikrophotographie lebender Objekte kennenlernt, nämlich, daß man hier zu einer niedrigen Apertur heruntergehen kann, um bei einer noch ausreichenden Auflösung scharfe und kontrastreiche Bilder zu erhalten.

glasfläche, andere tiefer. Selbst in nativen Blutpräparaten von etwas größerer Schichtdicke sind solche Schichtbildungen deutlich bemerkbar. Stellt man also auf die Objekte in der oberflächlichen Schicht scharf ein, so werden die tiefer liegenden unscharf abgebildet und umgekehrt. In beiden Fällen erhält man Zerstreuungsscheibchen und storende Flecken bei der Aufnahme. Am häufigsten treten diese bei Objektiven von mittleren Aperturen (etwa zwischen 0,4 und 0,85) auf, da diese eine mittlere Tiefenschärfe haben, bei der noch Objekte 10 bis 20  $\mu$  oberhalb und unterhalb der Einstellungsebene zwar unscharf, aber doch abgebildet werden. Bei Objektiven von geringer Tiefenschärfe, wie man sie unter den starken Apochromaten (von der Apertur 0,85 aufwärts) findet, treten diese storenden Unschärfen im Bild selten auf. Hier wird aber wiederum der Umstand Schwierigkeiten bereiten, daß solche Objektive meistens einen sehr geringen freien Arbeitsabstand haben, und man sie daher nur auf Objekte scharf einstellen kann, welche in den oberflächlichsten Schichten in der Nähe der Deckglasfläche liegen. In gesteigertem Maße treten die hier geschilderten Störungen auf bei Objekten, die nicht in Präparaten der üblichen Form, sondern in besonderen Glasgefäßen von einer Flüssigkeitsschicht bedeckt liegen. Hier wird man die speziellen Objektive mit großem Arbeitsabstand, großer Tiefenschärfe und der Schichtdicke angepaßter Korrektur mit bestem Erfolg verwenden (Planktonsucher, Wassertauchlinsen usw., s. S. 38). Vielfach kann man auch mit dem Binokular-Präpariermikroskop vorzügliche Aufnahmen erzielen. Man verfertigt dann die Aufnahme entweder mit dem Lukam (s. S. 260) oder mit der DRUNERschen Kamera (s. S. 258).

Die hangenden Tropfen, in denen man lebende Objekte häufig zu untersuchen pflegt, zeigen bei der photographischen Aufnahme teils dieselben optischen Eigentümlichkeiten, von denen eben die Rede war, zum Teil treten aber noch neue storende Momente dazu. Vor allem wird die freie Kugelfläche des Tropfens zu Spiegelungserscheinungen Anlaß geben, welche je nach Größe des Tropfens, der Stärke des abbildenden Systems und der Richtung der Beleuchtung mehr oder weniger in Erscheinung treten. Sind die Tropfen im Verhältnis zu dem vom abbildenden System gelieferten Gesichtsfeld klein und ausgesprochen halbkugelförmig, und ist die Beleuchtung nicht genau ausgerichtet, so wird auf der einen Seite ein ausgeprägter Schatten, auf der anderen Seite ein Lichtreflex erscheinen, welche die hier liegenden Objekte optisch verhüllen und dadurch ihre scharfe Abbildung verhindern können.

Am stärksten wirken diese von der Kugelfläche des Tropfens bedingten Spiegelungen bei Aufnahmen im Dunkelfeld (s. Abb. 219 B)<sup>1</sup>. Ist die aquatoriale Zone des Tropfens, die als eben betrachtet werden kann, so breit, daß die Eintrittspupille des Objektivs nur Strahlen aus diesem Bereich empfängt, so werden selbstverständlich die erwähnten Störungen nicht bemerkbar sein. Je flacher der Tropfen und je geringer der Durchmesser des vom Abbildungssystem gelieferten Sehteldes ist (nicht zu verwechseln mit der Bildflächengröße), um so besser gelingt die gleichmäßige Ausleuchtung des Sehteldes. Bei den größeren hangenden Tropfen, wie man sie zur Untersuchung von Protistenzellen verwendet, ist dieser Bedingung leichter zu entsprechen als bei den kleineren hangenden Tropfen, in denen man Bakteriensuspensionen zu untersuchen pflegt. Da man aber hier wiederum meistens starke Objektive benutzt, die nur ganz geringe, als planparallele Schichten wirkende Ausschnitte des Tropfens abbilden, so wird in der Mehrzahl der Fälle die Kugelform des Tropfens auch hier keinerlei storenden Einfluß auf die Beleuchtung ausüben. Erfahrungsgemäß

<sup>1</sup> Vgl. T. PÉTERFI (1) und K. B. EISENBERG (1).



ergeben sich jedoch häufig Fälle, wo die Tropfen im Verhältnis zum Vergrößerungsvermögen des Objektivs zu klein sind und eine gekrümmte Grenzfläche haben, welche Spiegelungen erzeugt. Dann versucht man bessere Beleuchtungsbedingungen so zu erzielen, daß man entweder stärkere Objektive (Okulare) benutzt oder, wo das nicht tunlich ist, einen neuen flachen Tropfen auf das Deckglas legt. Es sei bemerkt, daß man mit einer Öse immer flachere Tropfen auf das Deckglas anbringen kann als mit einer Pipette. Selbstredend muß auch die Benetzbarkeit des gereinigten Deckglases zur Herstellung des hangenden Tropfens geeignet sein, und zwar so, daß der Tropfen auf der Glasfläche weder zerläuft noch sich stark abkugelt. Am besten erzielt man eine solche Oberfläche, wenn man nach sorgfältiger Reinigung und Trocknung das Deckglas vor der Auflegung des Tropfens zwei- oder dreimal durch die Flamme zieht.

Eine weitere störende Erscheinung bei allen in hohlgeschliffenen Objektträgern oder ähnlichen Mikrokammern luftdicht eingeschlossenen hangenden Tropfen bedeuten die Wassertropfchen, welche sich auf der Oberfläche des Hohlgeschliffes niederschlagen. Am häufigsten begegnet man ihnen dort, wo, wie das bei Kulturpräparaten häufig der Fall ist (s. S. 336), der hangende Tropfen bei einer höheren Temperatur gehalten und bei einer niedrigeren mit dem Mikroskop untersucht wird. Auch bei solchen, die bei Zimmertemperatur gehalten werden, bilden sich mit der Zeit an den Glaswänden der Kammer Tropfchen aus Kondenswasser. Schon bei subjektiver Beobachtung wirken diese recht störend, noch störender jedoch bei der mikrophotographischen Aufnahme. Am einfachsten entfernt man sie so, daß man das Deckglas abhebt und die Tropfchen abwischt oder, wo das aus irgendwelchem Grund nicht ratsam erscheint, das Präparat auf einem mäßig erwärmten Heiztisch beobachtet. Oft genügt es bei Präparaten, die bei Zimmertemperatur gehalten wurden, wenn man 2—3 Minuten abwartet, bis die Wärmestrahlen der Beleuchtung das Tragglas etwas aufwärmen, denn die Tropfchen verdunsten in solchen Präparaten schon bei ganz geringer Erwärmung.

Betrachten wir jetzt, inwiefern die Art der Präparate bessere oder schlechtere Bedingungen für die Abbildung der lebenden Objekte schafft. Das hängt unmittelbar mit der weiteren Frage zusammen, ob die Brechungsunterschiede im Präparat durch passende Wahl des Einschlußmediums günstiger gestaltet werden können oder nicht. In dieser Beziehung unterscheiden sich die nativen Präparate, bei denen die Objekte in ihrem lebenden oder lebensfrischen Zustand nur für die verhältnismaßig kurze Zeit der mikroskopischen Beobachtung gehalten werden müssen von den Kulturpräparaten, in denen die Objekte ihre volle Lebensfähigkeit längere Zeit aufrechterhalten. Bei den nativen Präparaten, die entweder Zupf- oder Quetschpräparate oder Zell- und Bakteriensuspensionen darstellen, muß das Medium nur die biologischen (bakteriologischen) Forderungen erfüllen, die man allgemein den isosmotischen, chemisch neutralen physiologischen Lösungen gegenüber zu stellen pflegt. Unter mehreren solchen physiologischen Einschlußmitteln kann man dann das optisch geeignetste, d. h. jenes aussuchen, dessen Lichtbrechung mit der des Objektes die günstigsten Kontraste erzeugt.

Bei den Zupf- und Quetschpräparaten erhält man mit den üblichen physiologischen Lösungen bei enger Aperturblende so deutliche Strukturbilder, daß man es nicht nötig hat, nach anderen Medien zu suchen. Diese Art der nativen Präparate läßt sich also ohne besondere mikrotechnische Behandlung sowohl im Hellfeld wie im Dunkelfeld, mit polarisiertem und mit ultravioletttem Licht mikrophotographisch gut abbilden (Abb. 199, vgl. auch Abb. 187 und 188).

Für Zell- und Bakteriensuspensionen eignen sich aus optischen Gründen manchmal kolloide Flüssigkeiten oder isotonische Gallerten besser als die reinen

Salzlosungen. So erhält man von roten Blutkörperchen in einer isotonischen  $1\frac{1}{2}$ –2proz. Gelatinelösung besser definierte Grenzlinien als in RINGER- oder TYRODE-Lösung. Noch besser eignet sich zu mikrophotographischer Abbildung der lebensfrischen Blutkörperchen das Blutplasma als Einschlußmittel. Auch bei manchen Protistenzellen, welche den Einschluß in ein gallertiges Medium vertragen, so z. B. bei den meisten Ciliaten, wird die Abbildung in der Gallerte besser als in der Kulturflüssigkeit (selbstverständlich muß die Gallerte chemisch vollkommen neutral sein). Wo das gallertige Medium dem Objekt irgendwie schädlich ist, soll man es mit einer isotonischen Zuckerlösung versuchen, deren Brechung höher ist als die der physiologischen Salzlosungen. Infolge des größeren Brechungsunterschiedes werden dann z. B. die Flagellen von Flagellaten in einer solchen Zuckerlösung deutlicher sichtbar. Bei Bakteriensuspensionen erhält man im Hellfeld ebenfalls günstigere Bilder, wenn das Medium Fleischbrühe oder eine stark verdünnte Gelatine bzw. Agar-gallerte ist, für Dunkelfeldaufnahmen eignen sich umgekehrt die Salzlosungen besser, da hier die Ultrateilchen nicht stören, welche in der Fleischbrühe und in den Gallerten stets enthalten sind (vgl. auch S. 330).

**145. Die Steigerung der Kontraste innerhalb der lebenden Zellen.** Man ist bei der geschilderten Art der nativen Präparate durch passende Wahl des Einschlußmittels meistens in der Lage, die geringen optischen Kontraste zu steigern. Weit schwieriger ist es, in den Zellen zwischen dem Zytoplasma und den darin ent-



Abb. 199. Lockeres Bindegewebe als Zytpräparat in

Oblen links Fettzelle, rechts dichtere Stelle mit starker Überstrahlung. Im Schilde sind elementare kollagen- und elastische Fädchen einzeln oder in Bündeln sichtbar. Stellenweise zeigen sie eine ultramikroskopische Struktur aus Ultrateilchen. Hom. Imm. Zeiss Obj. 60 fach, num. Ap. 0,85, Phok. Paraboloid-Wechselkondensor nach SIEBERT.

haltenen Strukturen günstige Kontraste zu erzielen. Abgesehen von den metaplas-matischen Körnchen und den kontraktilen Faserchen, welche auch ohne besondere optische Hilfsmittel deutlich genug in Erscheinung treten (vgl. Abb. 198), wird man von den auch im lebenden Zustand sichtbaren Organellen und sonstigen Zellstrukturen schwer kontrastreiche Bilder erhalten, selbst dann, wenn man sie subjektiv deutlich gesehen hat. Man wird z. B. den Kern eines Amöbe Proteus oder Sphaerococcus im photographischen Bild selten so deutlich und mit derselben Kontrastwirkung erblicken, wie man ihn im Mikroskop wahrgenommen hat (vgl. Abb. 201). In manchen Fällen, so z. B. bei der auf Agar, Gelatine oder Blutplasma gezüchteten Mikroorganismen treten intrazelluläre Strukturen bei einer sog. Zwischenfeldbeleuchtung oder einer einseitig schiefen Beleuchtung deutlicher auf. In anderen Fällen wird die Vitalfärbung gute Dienste leisten. Die Färbung mit Neutralrot hebt allerdings in der Hauptsache Körnchen hervor, welche auch ohne Färbung schon gute Kontraste ergeben. Da jedoch der Kern sich nicht mitfärbt, wird er im Bild dadurch hervorgehoben, daß er zwischen

den dunkleren Kornchen hell bleibt. Denselben Vorteil hat man, wenn man lebende Bakterien vor der Aufnahme mit Neutralrot oder anderen roten Vitalfarbstoffen (Phenol- und Kresolrot) oder Nervenzellen mit Methyleneblau färbt. Zur scharferen Darstellung der Mitochondrien verwendet man, wie üblich, Janusgrün.

Bei allen Vitalfärbungen, die man zur Hebung der Kontraste vor der Aufnahme ausführt, sind zwei Umstände zu berücksichtigen:

1. daß man die gewünschte elektive Wirkung in der Mikrophotographie schon mit geringeren Konzentrationen erzielen kann als bei einer subjektiven Beobachtung,

2. aber, daß jede elektive Wirkung der Färbung verlorenggeht oder wesentlich herabgesetzt wird, wenn auch das Einschlußmittel Farbstoff enthält.

Aus dem Umstand, daß man mit sehr stark verdünnten Färbungen die Vitalfärbungen vor der Aufnahme ausführen kann, folgt, daß man ohne Gefahr auch Methyleneblau, Janusgrün, Toluidinblau oder Nilblausulfatlosungen verwenden kann<sup>1</sup> und auch dann eine merkliche Steigerung der Kontraste im photographischen Bild erhält, wenn bei der subjektiven Beobachtung noch kaum eine Färbung bemerkbar ist.

Hat man aber die Objekte mit den vitalen Färbungen behandelt, so muß dafür Sorge getragen werden, daß kein Farbstoff im Medium zurückbleibt. Bei Suspensionen von großen Zellen (Infusorien, Seeigelriemen usw.) ist es verhältnismäßig leicht, die Objekte erst zu färben und dann in reines Wasser oder in die reine Kulturflüssigkeit zu überführen. Schwieriger ist es dieser Forderung nachzukommen, wenn die Objekte sehr klein sind, wie z. B. die Bakterien, oder wenn man sie aus dem fertigen Präparat nicht mehr entfernen kann. Gewöhnlich führt man bei solchen Objekten die vitale Färbung so aus, daß man zur Kulturflüssigkeit oder zum physiologischen Einschlußmittel die vitalen Farbstoffe zuzusetzt und abwartet, bis die Strukturen sich deutlich gefärbt haben, während das Medium für den subjektiven Beobachtenden farblos bleibt. Vielfach wird tatsächlich das Medium farblos, indem die darin enthaltenen Spuren des Farbstoffes in farblose Form übergeführt werden. So wird z. B. die vitale Methyleneblaulösung, die man den Gewebekulturen oder einem mit Infusorien dicht besetzten Tropfen zugebt, innerhalb weniger Minuten vollkommen farblos, während die mit der blauen Farbe gefärbten Strukturen die Färbung längere Zeit (bis 10 oder 15 Minuten) behalten. Rote vitale Farbstoffe, wie Neutralrot, Phenolrot usw., stellen sehr empfindliche Indikatoren dar für die Wasserstoffionenkonzentration und färben also in roter Farbe nur bei saurer Reaktion, bei alkalischer dagegen in einer hellgelben Farbe. Da die allermeisten physiologischen Lösungen eine neutrale Reaktion haben, bei etwa  $p_H = 7$ , wird die hellgelbe Farbe des Mediums keine nennenswerte Wirkung auf den Hintergrund des photographischen Bildes ausüben, und die rot gefärbten Strukturen werden sich dann kontrastreich von einem hellen Hintergrund abheben. Färbt sich jedoch auch das Medium in rothlicher Farbe mit, so verdunkelt sich der Hintergrund des photographischen Bildes in dem gleichen Maße wie die Strukturen. Besonders stark wirkt die von dem Neutralrot verursachte rote Farbe auf das photographische Bild selbst in solchen Fällen, wo man bei der subjektiven Beobachtung kaum irgendwelche Färbung des Mediums wahrgenommen hat (s. S. 112).

Die Wirkung der Farbenfilter. In ähnlicher Weise wie die vitalen Färbungen wirken auch die Farbenfilter, vor allem die blauen und grünen

<sup>1</sup> Diese gelten in den Konzentrationen, bei welchen sie rasch und deutlich färben (1:10000 oder 20000) für die lebenden Zellen noch als schädlich, in den unschädlichen Konzentrationen aber (1:100000 oder 150000) färben sie für das Auge sehr langsam und schwach.

Filter (s S 142) Man ist vielfach geneigt, die günstige Wirkung solcher Filter auch bei den lebenden Objekten auf eine bessere Auflösung infolge der Beleuchtung mit kurzwelligem Strahlen zurückzuführen. Sie hängt jedoch hier weniger mit der Auflösung als vielmehr mit der selektiven Absorption zusammen. Bekanntlich entstehen die starken Kontraste in den Strukturbildern der im lebenden Zustand mit ultraviolettem Licht photographierten Zellen infolge der selektiven Absorption der kurzwelligen UV-Strahlen durch bestimmte Zellstrukturen. Es ist anzunehmen — leider sind exakte Messungen darüber bisher nicht angestellt worden —, daß auch im Bereich des sichtbaren Spektrums die Strahlen mit kürzeren Wellenlängen anders absorbiert werden als die mit längeren. Die Erfahrung lehrt wenigstens, daß zarte, ungefärbte Strukturen, die im weißen Licht kaum sichtbar sind, sofort scharfer und kontrastreicher erscheinen, wenn man ein grünes oder blaues Filter vorschaltet (Abb 200). Für die Mikrophotographie solcher Feinstrukturen sind besonders die blauen Filter<sup>1</sup> (oder das entsprechende monochromatische blaue Licht) wertvoll. Dabei sei beachtet, daß, während die Feinstrukturen mit einem Grünfilter auch subjektiv schon scharfer erscheinen, dieses mit einem Blaufilter nicht der Fall ist. Hier wirkt das mit dem Blaufilter subjektiv beobachtete Bild meistens flauer als ohne Filter. Es ist also ratsam, bei Anwendung von blauen Filtern das Bild erst subjektiv ohne Filter scharf einzustellen und dann vor der Aufnahme das Filter einzuschalten. Bei Apochromaten braucht man an der scharfen Einstellung auch nach Einschaltung des blauen Filters nichts mehr zu ändern, bei Fluoritsystemen und Achromaten empfiehlt es sich dagegen, etwas nach unten zu fokussieren, bis die BECKESche Linie (s S 290) um die Zellen herum gerade in Erscheinung tritt. Sonst erhält man infolge der Fokusdifferenz zwischen gelben und blauen Strahlen eine überfokussierte und demzufolge weniger scharfe Aufnahme von dem in weißem Licht scharf eingestellten Bild.

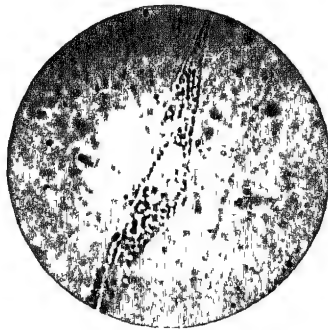


Abb 200 Gezüchtete, embryonale, quergeschnittene Muskelzelle (Myoblast)

Vom Innern ZEISS Obj. 90fach, num. Ap. 1.25, „Phokor“, Kondensor 1,4 ohne Filterlinse, Irisblende bei 20, Punktlichtlampe 2 W. Blaufilter 1.3873 (O. SCHOLT & GRN)

**116. Einstellungsregeln.** Die scharfe Einstellung der Feinstrukturen, Zellgrenzen und ähnlicher lineare Strukturelemente ist bei lebenden Objekten stets mit größeren Schwierigkeiten verbunden als bei fixierten Präparaten. Dabei wollen wir hier nicht auf die mikroskopisch-optischen Schwierigkeiten eingehen, welche durch die größere Schichtdicke, die plastische Form und sonstige für die Abbildung ungünstige Eigenschaften des Objektes bedingt sind (s S 320 ff.), sondern uns nur mit der Frage befassen, welche Einstellung innerhalb des Bereichs der scharfen Einstellung für die graphische Wirkung die günstigste sein wird. Bekanntlich gibt es innerhalb dieses Bereichs Grenzen nach oben und unten, wo die Einstellung noch im großen und ganzen als scharf gelten kann, die Kontraste im Bild jedoch sehr verschieden ausfallen, je nachdem, ob man etwas mehr nach oben, etwas mehr nach unten oder auf eine mittlere Ebene scharf eingestellt hat. Diese Unterschiede in den Kontrasten rühren im Sinne der WELKER-

<sup>1</sup> Als blaues Filter kann man für mikrophotographische Zwecke nicht die mattierte Kobaltglasscheibe benutzen, die man für subjektive Beobachtung oft verwendet, sondern nur ein richtiges Blaufilter mit guter Transparenz (vgl S 134), z B das Blaufilter der Firma SCHOLT & GRN (F 3878), das Kobaltglasfilter derselben Firma oder das Blaufilter der Agfa Nr 40.

schen Einstellregel (vgl. A. KOHLER [9, S. 346]) davon, daß kugel- oder zylinderförmige Objekte von höherer Brechungs Zahl in einem Medium von geringerer Brechung bei höherer Einstellung heller und schärfer, bei tieferer Einstellung dunkler und weniger scharf erscheinen. Die als BECKESche Linie bekannte Interferenzerscheinung (s. S. 290) an der Grenze zwischen zwei Medien von verschiedener Brechungs Zahl ist ebenfalls von der Höheneinstellung ab-

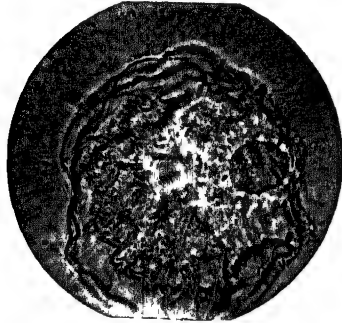


Abb. 201 *Amoeba sphaeroul* auf Agar  
gezuchtet (Deckglaskultur)  
Hom. Imm. Zeiss Obj. 60fach, num.  
Ap. 0.85, „Phoku“, Kondensor 1,4 ohne  
Frontlinse, Irisblende bei 20, Punktlicht  
lampe 2 W.

hängig, denn der helle Streifen wandert beim Heben des Tubus in das stärker brechende, beim Senken in das schwächer brechende Medium. Diese Erscheinungen haben nun bei der scharfen Einstellung lebender Objekte, wo die graphischen Kontraste vorwiegend von den Brechungs Zahlen der abzubildenden Strukturen abhängen, eine erhöhte Bedeutung, und zwar um so mehr, je feiner die Strukturen sind und je stärker die Objektive, mit denen man sie abbilden soll. Sind die Brechungsunterschiede zwischen Objekt und Umgebung gut ausgeprägt, so wird man bei einer mittleren Einstellung schon scharf gezeichnete Grenzlinien und wirkliche Kontraste im Bild erhalten (Abb. 201). Von größeren Protistenzellen, Eizellen oder von Zupf- und Quetschpräparaten erhält man

bei einer solchen Einstellung die scharfsten und auch graphisch günstigsten Bilder (Abb. 202 u. 203). Man achtet dabei die Grenzlinien des Objektes so einzustellen, daß die BECKESche Linie gar nicht oder nur kaum in Erscheinung tritt. Ist sie schon ganz in Erscheinung getreten, so ist das photographische Bild sicher

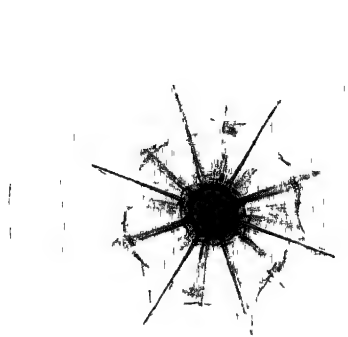


Abb. 202 *Acanthodinium serratum* (Radiolar)  
lebend Vergr. 39fach (AUS K. BÉLÁR [2, Abb. 2])

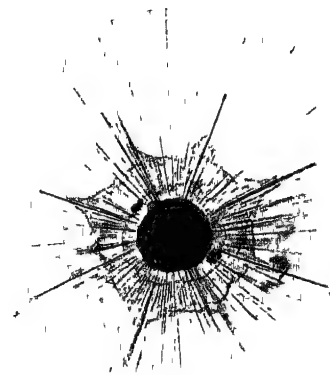


Abb. 203 *Acanthodinium spec.* (Radiolar) lebend  
Vergr. 39fach (AUS K. BÉLÁR [2, Abb. 3])

unscharf, d. h. über die Grenzen der scharfen Einstellung nach oben oder nach unten fokussiert. Die Unschärfe bemerkt man meistens erst in der mikrophotographischen Aufnahme deutlich, denn bei der subjektiven Beobachtung wird sie teils durch Akkommodation kompensiert, teils aus psychischen Gründen nicht wahrgenommen.

Es gibt allerdings Fälle, wo die BECKESche Linie auch bei sonst scharfer Einstellung sichtbar wird und das photographische Bild allzu kontrastreich

und unruhig gestaltet (vgl. Abb 205). Das ist stets der Fall, wenn die Irisblende des Beleuchtungsapparates enger als erforderlich zugezogen ist, wie dies oft der Fall sein wird, wenn man die kontrastarmen Feinstrukturen durch Zuziehung der Irisblende scharfer hervorheben will. Die BECKESche Linie ist bekanntlich eine Interferenzerscheinung, welche bei einer Beleuchtung mit engen Strahlenbündeln starker in Erscheinung tritt. Bemerkt man also, daß bei ganz geringen Änderungen der Höheneinstellung die BECKESche Linie schon neben den scharf gezeichneten Grenzlinien deutlich bemerkbar wird, so ist das stets ein Zeichen dafür, daß die Apertur der Beleuchtung zu klein ist, und daß man, um deutliche Bilder zu erhalten, die Irisblende so weit öffnen muß, bis die BECKESche Linie verschwindet.

Anders verhält sich die Sache bei Objekten und Strukturen, wo die Brechungs- zahl sich von der der Umgebung kaum unterscheidet. Am häufigsten begegnet man solchen in den Gewebezuchtungen (s. S. 339), wo die Grenzen der flachen,



Abb. 204. *Amoeba sphaerocaulis* auf Agar-Nährboden (D. 1,1, Ultraviolett-Obj. ZEISS Achi 40fach, num. Apert. 1,1). Die Irisblende offen. Die Amöbe ist abgeflacht, rechts jedoch etwas dicker als links. Da bei der mikroskopischen Untersuchung die Agarschicht höher liegt als das Objekt, ist die Einstellenebene mit den Agarboden die höhere. Es wurde auf die Bakterienkultur (links) eingestellt. Die Körnchen noch schwach, im rechten Zellteil, neben der Vakuole, hell. Rechts oben die Mündung einer Mikropipette.

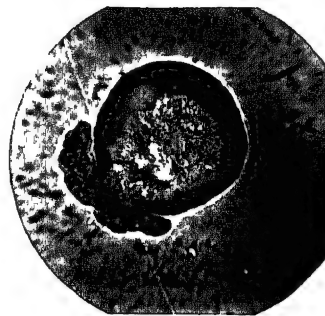


Abb. 205. Dieselbe Amöbe wie in Abb. 204 vor der experimentellen Beobachtung, aber stark abgekuppelt. Der Zustand der Beleuchtung wie bei Abb. 204. Es wird mit der Einstellung der abgerundeten Zelle scharf eingestellt. Bakterienkultur links unten unscharf, stark ausgeprägte BECKESche Linie (die scharf eingestellte Ebene liegt bedeutend tiefer als die Agarschicht und also auch tiefer als die Einstellenebene in Abb. 204).

durchsichtigen Zellen im Blutplasma oder die Zellstrukturen im Zytoplasma oft kaum sichtbar sind. Ein weiteres Zusammenziehen der Irisblende hat dann nicht viel Zweck, um z. B. die Zellgrenzen eines jungen Fibroblasten oder die Endverzweigungen eines Nervenfortsatzes scharfer hervorzuheben. Die schon erwähnte Anwendung eines blauen Lichtfilters wird manchmal auch hier etwas kräftigere Kontraste erzeugen, doch werden auch diese stets von der Art der Einstellung abhängig sein. Für die Einstellung erweisen sich nun die folgenden praktischen Kunstgriffe als zweckmäßig.

Handelt es sich um eine bessere Hervorhebung der Zellgrenzen, so hebe man den Tubus, bis die BECKESche Linie im Zellkörper (der stets eine etwas höhere Brechungs- zahl hat als das Blutplasma) nahe der Zellgrenze gerade in Erscheinung tritt. Sollen aber in den Zellen die Körnchen, Faserchen oder sonstigen Strukturen scharf hervorgehoben werden, so stelle man so ein, daß diese, welche fast immer starker lichtbrechend sind als das undifferenzierte Zytoplasma, in einer helleren Umgebung dunkel erscheinen (Abb. 204). Verfährt man umgekehrt, so wirkt das Bild zwar ebenfalls kontrastreich, jedoch unruhiger und, was das Entscheidende ist, weniger scharf (Abb. 205). Bei einer mittleren Einstellung

erhält man allerdings die scharfsten, d. h. am feinsten gezeichneten Grenzlinien, diese sind jedoch infolge ihrer Feinheit graphisch nicht wirksam und eignen sich zu einer drucktechnischen Wiedergabe sehr schlecht.

**147. Die Verwendung von polarisiertem Licht.** Wenn man, wie oben geschildert wurde, die vorhandenen geringen Brechungsunterschiede schon in nicht-polarisiertem Lichte bei richtiger Anwendung der WELKERSchen Einstellriegel vorteilhaft ausnutzen kann, so lassen sich diese in polarisiertem Licht oft noch besser hervorheben. Das polarisierte Licht wird stets die Kontrastwirkung fördern, namentlich zwischen faserförmigen Gebilden oder langlichen Kornchenreihen und ihrer Umgebung, wo die linearen Gebilde — die stets eine mehr oder weniger ausgeprägte Formdoppelbrechung aufweisen — zu der Schwingungsebene des außerordentlichen Strahls parallel liegen. Man schaltet also den Polarisator in den Gang der Beleuchtungsstrahlen ein und dreht ihn herum, bis die für die Kontrastwirkung günstigste Stellung gefunden ist. Man wird auf diese Weise oft überraschend scharfe und kontrastreiche Aufnahmen erzielen von Feinstrukturen, so z. B. von Mitochondrien in gezuchteten Fibroblasten, von kontraktile Fibrillen in gezuchteten Muskelfasern oder von Nervenfortsätzen in Nervenkulturen), welche auf jede andere Art schwer darzustellen sind.

## XII. Die Kulturpräparate.

Zur mikroskopischen Beobachtung lebender Objekte und der an ihnen sich abspielenden Lebensvorgänge eignen sich die Kulturpräparate am besten<sup>1</sup>. Man bezeichnet als solche hauptsächlich Bakterien-, Zell- oder Gewebezuchtungen, welche auf einer dünnen Schicht von Nährboden an Deckgläsern untergebracht und, in hohlgeschliffenen Objektträgern eingeschlossen, unmittelbar mit dem Mikroskop untersucht werden können. Es lassen sich jedoch auch Bakterien- oder Zellkulturen in ihren Kulturgefäßen mikroskopisch untersuchen und mikrographisch abbilden. Wir müssen daher bei der Betrachtung der Bedingungen, unter denen diese Objekte am besten abzubilden sind, die zwei Formen als Deckglaskulturen und als Schalenkulturen gesondert behandeln. Ein allgemeines Kennzeichen der Kulturpräparate in mikroskopischer Hinsicht ist, daß sie, was scharfe Abbildung und günstige Kontrastwirkung anbelangt, zu den schwierigsten Objekten der Mikrophotographie gehören. Von sonstigen, bei allen lebenden Objekten gemeinsamen Schwierigkeiten abgesehen — von denen in dem vorangegangenen Abschnitt schon die Rede war —, zeichnen sich die Kulturpräparate auch dadurch noch aus, daß man die Brechungsunterschiede zwischen Objekt und Medium nicht einmal in jenen engen Grenzen steigern kann, wie dies bei den nativen Präparaten noch der Fall war. Die Aufrechterhaltung der Lebensbedingungen, unter denen die Kultur wächst und gedeiht, ist in den meisten Fällen an bestimmte Nährboden gebunden, so daß man an diesen nur selten Änderungen vornehmen kann, die durch Steigerung oder Abschwächung der Kontraste auf das photographische Bild günstig einwirken könnten.

Ebenfalls einen allgemeinen, d. h. sowohl bei den Deckglas- wie bei den Schalenkulturen entscheidenden Faktor in bezug auf die Beleuchtung, das Vergrößerungsmaß und die Abbildungsscharfe stellt die Schicht des Nährbodens dar. Verhältnismäßig selten werden Bakterien- und Zellkulturen, die zur photographischen Aufnahme gelangen sollen, in flüssigen Medien gezüchtet. Wo das

<sup>1</sup> Über die Methodik der Kulturpräparate siehe Handbuch der mikrobiologischen Technik (KRAUS-UHLENHUTH [1], E. KÜSTER [2], K. BÉLAR [3]).

doch der Fall ist, gelten für diese dieselben Vorschriften wie für die Präparate in Form von hangenden Tropfen (S 321). Viel häufiger werden jedoch die Objekte auf festem Nährboden, d. h. auf einer Galleite aus Gelatine, Agar, Kieselsäure oder Blutplasma gezüchtet. Liegt nun diese Galleitschicht zwischen dem Objekt und dem abbildenden System, wie das bei den Deckglaskulturen der Fall ist, so wird sie je nach ihrer Dicke, Dichte, Transparenz und Brechungszahl auf die Abbildung einwirken, liegt sie aber zwischen Objekt und Beleuchtung wie bei den Schalenkulturen, so wirkt sie entscheidend auf die Beleuchtung ein.

**148. Die Deckglaskulturen.** Der Nährboden der Deckglaskulturen ist in der Regel so dünn, daß die mikroskopische Untersuchung oder die mikrophotographische Aufnahme in durchfallendem Licht auch mit stärksten Vergrößerungen ohne besondere Schwierigkeiten durchführbar ist. Die Galleitschicht darf allerdings nicht dicker als etwa 1—1,5 mm sein. Für Aufnahmen mit starken Objektiven, namentlich mit Immersionsapochromaten, eignen sich die Deckglaskulturen natürlich um so besser, je dünner die Galleitschicht ist (vgl. Abb 201), da bei der kurzen Brennweite und dem noch geringeren freien Arbeitsabstand dieser Objektive schon ein 1—1,5 mm dicker Nährboden — wenn man auch die Deckglasdicke noch mitrechnet — Schwierigkeiten bei der scharfen Einstellung bereiten wird. Aus den üblichen Nährsubstanzen ließen sich natürlich äußerst dünne Schichten auf dem Deckglas austreichen, nur sind diese zu Zuchtungs-zwecken nicht gut geeignet, weil sie zu rasch austrocknen oder sich erschöpfen, so daß die Kultur bald abstirbt, falls sie sich überhaupt ansetzen konnte.

Eine weitere Forderung ist, daß die freie Oberfläche der Galleite möglichst glatt und eben sei. Ist sie uneben, wie das meistens bei den nicht glatt fließenden oder nicht gleichmäßig ausgebreiteten Galleiten der Fall ist, so erhält man im photographischen Bild störende Flecken, welche oft gerade die wichtigsten Stellen des Objekts verdecken. Auch die Verunreinigungen, die in der käuflichen Gelatine und im Agar stets vorhanden sind (seltener in der Kieselgalleite und fast nie im Blutplasma), muß man natürlich vor der Anlegung der Galleitschicht durch Filtrieren sorgfältig entfernen. Die von der kolloidalen Beschaffenheit bedingte optische Inhomogenität wird man allerdings stets in Kauf nehmen müssen, diese stört aber bei Hellfeldaufnahmen nie, und auch bei Dunkel-feldaufnahmen läßt sie sich durch besondere Kunstgriffe (s S 331) auf ein Mindestmaß beschränken.

Für die graphische Wirkung des Bildes, das man von solchen Deckglaskulturen erhalten wird, ist der Umstand entscheidend, daß die Objekte an der freien Oberfläche der Galleitschicht liegen und so an die Luft grenzen. Die Brechungsunterschiede zwischen Objekt und Medium sind daher meistens so stark ausgeprägt, daß man auch bei verhältnismäßig weit geöffneter Irisblende die Grenzlinien scharf und kontrastreich wahrnehmen wird (vgl. Abb 201). Je kleiner und je feiner die Objekte sind, um so auffälliger ist die günstige Wirkung des großen Brechungsunterschieds zwischen dem an der Oberfläche der Kultur liegenden Objekt und der Luft. Mikrophotogramme von so gezüchteten Bakterien sind deshalb stets wirkungsvoller als solche, die man von Bakterien-suspensionen in Flüssigkeiten erhalten kann. Auch bei größeren Zellen, wie bei den auf KNOOP-Agar gezüchteten Amöben, Myxomyceten, Sporozoen usw., wird die äußere Form plastisch und scharf im Bild erscheinen (vgl. Abb 204), namentlich wenn man durch Verstellung des Spiegels oder der Irisblende das Objekt etwas schief beleuchtet. Auch mit der Zwischenfeldbeleuchtung erhält man recht wirkungsvolle Bilder. Man wird oft jedoch gerade infolge der plastischen Form der Objekte und des großen Brechungsunterschieds zwischen Objekt und Medium (Luft) Schwierigkeiten haben bei der photographischen Abbildung der inneren



Struktur solcher gezuchteter Zellen. Es kommt nämlich häufig vor, daß bei größeren Objekten von kugelförmiger oder zylindrischer Form (z. B. *Amoeba sphaerocycl*, *Myxomyceten* u. a.) die Randteile vollkommen dunkel erscheinen und nur ein schmaler mittlerer Streifen so hell bleibt, daß man in ihm die innere Struktur noch wahrnehmen kann (Abb. 205).

Noch weit störender wirken natürlich die von der plastischen Form und der großen Brechungsunterschied bedingten Spiegelungen im Dunkelfeldbild. Bei der Dunkelfeldbeleuchtung der Deckglaskulturen sind in der Hauptsache drei spezielle Faktoren zu berücksichtigen, die sind 1. das Verhältnis der Schichthöhe zur Schnittweite des Kondensors, 2. die Form der allseitig schief beleuchteten Objektschicht und 3. die optische Beschaffenheit der Nahrboden. Was den ersten Faktor anbelangt, so liegen die Objekte bei den meisten Deckglaskulturen etwa 3—4 mm oberhalb der Ebene des Mikroskoptisches. Da sie in höhlengeschliffenen Objektträger eingeschlossen sind, liegt in der Regel eine Luftschicht zwischen dem Objekt und dem Kondensor. Zur Dunkelfeldbeleuchtung solcher Präparate kann man also nur Trocken-Dunkelfeldkondensoren benutzen mit einer Schnittweite von wenigstens 4 mm, wie z. B. die Präparierwechselkondensoren der Firma ZEISS und LERTZ oder den großen Glaskondensor der Firma ZEISS (s. S. 209). Wie schon öfters erwähnt, weisen die Dunkelfeldkondensoren mit einer längeren Schnittweite und ohne Immersion eine geringere Apertur auf als die Paraboloid- oder Kardiodkondensoren, die man mit Immersion zu benutzen pflegt. Sollte also, wie das von Bakterienaufnahmen oder bei Protoplasmastrukturen oft erforderlich ist, die Aufnahmen von den Deckglaskulturen im Dunkelfeld eine stärkere Auflösung der Strukturen zeigen, so müssen die Kulturpräparate den optischen Forderungen angepaßt werden, denen man bei der Dunkelfeldbeleuchtung mit Paraboloid- oder Kardiodkondensoren begegnet. Die Objekte dürfen also nicht höher als 1—1,5 mm oberhalb der Tischebene liegen, und der Zwischenraum muß mit einem Medium von höherer Brechung als Luft ausgefüllt sein.

Man pflegt zu solchen Zwecken die Deckglaskultur auf ein dünnes Tragglas (0,6 mm) mit zwei Streifen eines dünnen Deckglases (0,2—0,4 mm) oder mit entsprechend dünn ausgezogenen Glaskapillaren als Stützen aufzustellen, den kapillaren Raum zwischen Tragglas und Deckglas mit einem Tropfen Kulturflüssigkeit (physiologischer Lösung) auszufüllen und dann mit Paraffin zu umranden. Als untere Immersion verwendet man dann zweckmäßig Wasser. Bei einer Reihe von Deckglaskulturen läßt sich allerdings dieses Verfahren nicht anwenden, weil die Objekte sich von dem festen Nahrboden ablosen, sobald sie mit einer Flüssigkeitsschicht in Berührung kommen (z. B. die auf Agar gezuchteten *Amoben*, viele Bakterienkolonien usw.). Bei diesen läßt sich ein Dunkelfeldbild mit starkerer Auflösung allein durch das SPIERERSche Verfahren (s. S. 211) oder mit den Auflichtgeräten für Dunkelfeldbeleuchtung (Ultropak, Epi-Kondensor W) erzielen.

**149 Die Dunkelfeldbeleuchtung.** Sowohl bei der subjektiven Beobachtung wie bei der mikrophotographischen Aufnahme wird natürlich das Dunkelfeldbild wesentlich von der ultramikroskopischen Struktur des Nahrbodens beeinflusst. Richtige Dunkelfeldbilder mit starken Kontrasten erhält man nur, wenn die Schicht, in der oder auf welcher die Objekte liegen optisch leer ist. Solche optisch leeren Gallertschichten findet man aber in den Deckglaskulturen nur selten (z. B. bei sorgfältig filtrierten Kieselgallen und beim frischen Blutplasma). Sowohl die Gelatine wie die Agarschichten, wie man sie gewöhnlich zu Kulturzwecken benutzt, sind voll von helleuchtenden Körnchen und Fädchen, die bei der subjektiven Untersuchung und bei der photographischen Aufnahme gleichermaßen stören. Es ist jedoch wichtig festzustellen, daß diese Körnelung

zum größten Teil nicht von der kolloiden Beschaffenheit der Gelatine oder Agar-gallerte bedingt ist, sondern von Verunreinigungen herrührt, welche nach A. BESSON (1) auf folgende Weise entfernt werden können. Man ruht den aufgelosten Agar (oder Gelatine) mit geschlagenem Eiweiß zusammen (100 g Eiweiß auf 1000 g Agar) und läßt die Mischung einige Stunden im Autoklaven bei 120° stehen. Hier wird das Eiweiß vollständig ausgeflockt, und die im flüssigen Agar oder Gelatine schwebenden Körnchen werden durch diese Flockung mitgerissen. Man filtriert also nachher in einem War metrichter (bei 110—115°) die Nahr gallerte und erhält einen optisch fast leeren Nährboden (Abb. 207).

Das Blutplasma, das man am häufigsten zu Gewebekulturen, manchmal auch zu Bakterienkulturen als Nährboden benutzt, ist in frischem Zustand optisch fast leer. Durch Altern, und zwar in verhältnismäßig kurzer Zeit (etwa nach 24 Stunden), tritt jedoch auch hier eine sehr dichte Kornelung auf, so daß man infolge dieser kolloiden Ultrastruktur von dem Blutplasma alterer Deckglaskulturen nie einen richtigen dunklen Hintergrund für die Dunkelfeldaufnahme erhalten wird (s. auch S. 344).

Hat man die Dunkelfeldbeleuchtung bei der gewünschten optischen Auflösung erzielt, und gelang es auch, die Objekte auf einem im Dunkelfeld optisch leeren Nährboden zu züchten, so müssen noch schließlich die optischen Störungen vermieden werden, welche von der Form der Objektschicht verursacht werden. Abgesehen von solchen Fällen, wo man zwischen der Objektschicht und dem Objektträger Flüssigkeit einschalten kann, ist die Ebene, die man allseitig schief beleuchtet, eine an der Luft grenzende freie Ebene mit einem mehr oder weniger ausgeprägten Oberflächenrelief. Diese von der plastischen Form der gezüchteten Objekte bedingte Unebenheiten und ferner der ausgeprägte Brechungsunterschied zwischen den Objekten und der Luft werden starke Spiegelungen im Dunkelfeld verursachen, welche zum Teil die feineren Strukturen in den Objekten selbst, zum Teil die Umgebung der Objekte überstrahlen und in jeder Weise die graphische Wirkung des Bildes stören. Die Stärke der so verursachten Störungen hängt zunächst von der Größe der Objekte ab. Bei gleichmäßig wachsenden Bakterien-schichten ist sie kaum bemerkbar (Abb. 207), bei größeren Zellen dagegen (Amöben, Myxomyceten) meistens stark ausgeprägt. Wie weit sie im photographischen Bild störend empfunden wird, hängt vielfach auch von dem Vergrößerungsvermögen des Objektivs ab. Bei Aufnahmen mit schwachen Objektiven wird sie weniger stören als bei solchen mit mittelstarken. Ist man auf diese letzteren angewiesen, so muß man durch Verstellung des Spiegels die günstige Richtung des Lichteinfalls so lange suchen, bis die eingestellte Stelle möglichst allseitig schief beleuchtet und die Spiegelung nur auf einen schmalen Randstreifen beschränkt ist, der dann nicht weiter stört und in manchen Fällen sogar eine günstige plastische Wirkung erzeugt (vgl. Abb. 219).

**150. Die Schalenkulturen.** Die Deckglaskulturen mit festem Nährboden sind nicht lange haltbar. Dort, wo man also Dauerkulturen anlegen muß, bereitet man in Glasschalen, z. B. in den meist benutzten PETRI-Schalen, eine höhere Schicht festen Nährbodens vor. Bei schwachen Vergrößerungen kann man die Kulturen auch in den Schalen mikroskopisch untersuchen. Das durchfallende Licht wird bei gut durchsichtigen Gelatine- und Agargallerten noch immer genügen, um selbst bei mittelstarken Vergrößerungen durch eine Schicht von 3 mm Dicke die an der Oberfläche liegenden Objekte wahrzunehmen. Zu mikrophotographischen Aufnahmen eignen sich jedoch solche Kulturschalen weniger. Gute Aufnahmen kann man nur bei Lupenvergrößerung, d. h. mit den schwachsten anastigmatischen Objektiven erhalten, was in den meisten Fällen, wo man Kulturen in Schalen zu photographieren pflegt, auch vollkommen

genügt (Abb 206) Man wird ja hauptsächlich nur die Abbildung der Form oder der Größe und Anordnung der Kolonien bezwecken Sollen auch feinere Einzelheiten zur Darstellung gelangen, und ist man dazu auf stärkere Vergrößerungen angewiesen, so wird man vorteilhaft von den verschiedenen Arten der Auflichtphotographie Gebrauch machen Dabei ist zu beachten, daß alle Kulturen auf festen Nährboden mit einer dünnen Flüssigkeitsschicht (dem Kondenswasser) überzogen sind Diese Flüssigkeitsschicht schmiegt sich eng dem Oberflächenrelief der Kultur an und erzeugt oft störende Spiegelungen, falls das Oberflächenrelief starker ausgeprägt ist Wo man also die Oberfläche mit einer physiologischen Flüssigkeit nicht gleichmäßig bedecken kann (s S 330), wird man am besten zu Aufnahmen in Auflicht den LIEBERKUHNSchen Spiegel, den Schräglichtilluminator, das Ultiopak oder die Epi-Geräte benutzen Besonders anschauliche Bilder erhält man in Auflicht auch mit der DRUNERSchen Kamera (s S 258) Die mikrophotographischen Aufnahmen von Schalen-

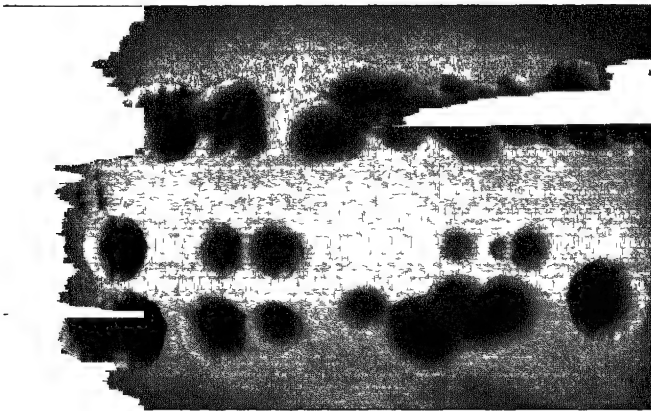


Abb 206 Bakterienkultur auf Agar-Nährboden (Schalenkultur, *B. dysenteriae*, 500 $\times$  Vergrößerung, 20 mm, Lichtquelle 20 mm, von REICHERT (a), K. u. L. 1908) Das Bild gibt die Unterschiede in der Transparenz einzelner Kolonien (von verschiedenen Formen R oder „G“) gut wieder

kulturen pflegt man, wie schon erwähnt, nur bei schwachen Vergrößerungen im Hellfeld zu machen Als Objektive kommen dabei in Betracht die photographischen Objektive oder die anastigmatischen Mikroskopobjektive (s S 184) Schwache Achromate und Apochromate mit starken Okularen und einer entsprechenden Kameralänge liefern Bildvergrößerungen, bei denen man schon feinere Einzelheiten

in der Kultur, manchmal sogar die innere Struktur in den gezeichneten Zellen wahrnehmen kann (Amobenkulturen auf KNOOP-Agar gezüchtet) Für stärkere Vergrößerungen in Durchlicht eignet sich am besten ein mittelstarkes Objektiv von der Apertur 0,4—0,5 mit 20facher Vergrößerung Objektive mit einem sehr geringen freien Objektastand können bei der Einstellung leicht mit der Oberfläche der Kultur in Berührung kommen und dadurch verunreinigt werden Schon aus diesem Grunde kommen bei den Aufnahmen stärkere Objektive nicht in Betracht Der Achromat 20fach (frühere Bezeichnung C) der Firma ZEISS oder die entsprechenden Objektive der anderen optischen Firmen werden in den Fällen, wo man von den Objekten der Schalenkultur ein starker aufgelöstes Bild zu erhalten wünscht, stets die besten Dienste leisten Das Bild, das man bei stärkeren Achromaten und Apochromaten erhält, ist in der Regel so lichtarm, daß man von der stärkeren Vergrößerung keinen Vorteil hat Selbst die Nährboden, welche die beste Transparenz haben, wie eine filtrierte Gelatine- oder Kieselgallerte, verschlucken in einer Schicht von 3—4 mm Höhe einen wesentlichen Teil des durchfallenden Lichts In solchen dickeren Schichten tritt natürlich auch die von der kolloiden Beschaffenheit bedingte optische Inhomogenität, welche bei den dünnen Schichten der Deckglaskulturen noch nicht stört (s S 229), so stark in Erscheinung, daß

man schon mit einem Achromat 40fach keine einwandfreie photographische Aufnahme wird erzielen können

In einigen Ausnahmefällen, wenn der Nährboden der Schalenkultur oder die Objekte sehr durchsichtig sind, kann man allerdings auch mit Wasser- oder Öl-Immersionslinsen Aufnahmen in durchfallendem Licht erzielen. So hat z. B. K. BĚLAŘ (1) feinste Zellstrukturen in den sehr durchsichtigen Wurmern (Rhabditisarten), die er in PETRI-Schalen auf Agar gezüchtet hat, mit den stärksten Immersionsapochromaten beobachtet und photographiert. Bei der Verwendung von Immersionslinsen wird die Stelle, auf die man einstellt, mit einem Deckglas bedeckt. Sonst würde das Immersionsöl den lebenden Objekten schaden, in den Wassertropfen aber, die man bei Wasserimmersionen unmittelbar auf die Kulturoberfläche gibt, quillt bald die Nährgallerte, oder die Objekte lösen sich von dem Nährboden ab.

Die Dunkelfelduntersuchung und die Dunkelfeldphotographie war bis vor kurzem bei Schalenkulturen aus leicht verständlichen Gründen nie angewandt worden. In letzter Zeit gelang es jedoch<sup>1</sup>, ein Verfahren zu finden, bei welchem Bakterien oder Protisten längere Zeit auf festen Nährboden gezüchtet auch im Dunkelfeld beobachtet und photographiert werden können. Zu diesem Zweck füllt man den Hohlsliff des hohlgeschliffenen Objektträgers mit der Gelatine- oder Agargallerte aus, welche in der schon geschilderten Weise von den im Dunkelfeld störenden Ultrateilchen befreit wurde. Auf diesen Nährboden von 2—3 mm Schichthöhe legt man die Kultur an, bedeckt sie mit einem Deckglas (eine Paraffinumrandung ist stets zweckmäßig, aber bei Protisten oder Thallophytenkulturen nicht unbedingt erforderlich) und stellt sie dann mit den dafür geeigneten Dunkelfeldkondensoren von entsprechender Schnittweite bei Dunkelfeldbeleuchtung ein. Da die so angelegten Kulturen mehrere Tage hindurch gut gedeihen, läßt sich auf diese Weise die Entwicklung der Bakterienkulturen im Dunkelfeld gut verfolgen und photographisch abbilden (Abb. 207). Ihrer Form nach kann man diese Kulturen natürlich keine Schalenkulturen in dem üblichen Sinn nennen, ihrem Wesen nach stellen sie doch in verkleinelter Form Schalenkulturen dar, auf denen die Züchtungen länger gehalten werden können als auf Deckglas. Diesen letzteren gegenüber weisen sie namentlich bei der Dunkelfeldbeleuchtung den großen Vorteil auf, daß der Raum zwischen dem Kondensor und dem Objekt von einem Medium ausgefüllt ist, dessen Lichtbrechung derjenigen des Glases nahe liegt, und diese Objektschicht zwischen Deckglas und Tragglas durch planparallele Ebenen begrenzt ist. Die störenden Spiegelungen, von denen bei den Deckglaskulturen die Rede war, treten daher hier nur ausnahmsweise auf.

Abb. 207. Linie aus einem einzigen Bazillus entstandene Kolonie von *B. dysenteriae* SHIGA Obj. ZEISS Apochr. 10fach (10 mm), „Phoku“, Präparat Wechselkondensor (ZEISS), num. Ap. 0,17—0,8  
(AUS T. PÉTERFI u. M. BERGONZINI [1])

### XIII. Die Gewebekulturen.

Unter den Kulturpräparaten erfordert die Mikrophotographie der Gewebekulturen eine besondere Behandlung, weil bei der speziellen Art der Herstellung und der besonderen Form der Präparate hier optische Erscheinungen auf die Güte der photographischen Aufnahme einwirken, denen man bei sonstigen

<sup>1</sup> Vgl. PÉTERFI u. BERGONZINI (1)

Kulturpräparaten nicht begegnet. Die allgemeine Verbreitung der Gewebezucht in der zytologischen und histologischen Forschung, ferner der Umstand, daß zur Wiedergabe der Forschungsergebnisse die Mikrophotographie sich am besten eignet, haben dazu geführt, daß in den letzten Jahrzehnten die Mikrophotographie kaum auf einem anderen biologischen Gebiet so ausgiebig gepflogen wurde wie gerade in der Gewebezucht. Es ist daher berechtigt und zweckmäßig, wenn die optischen Bedingungen, unter denen die Aufnahmen von Gewebekulturen erfolgen, in einem eigenen Abschnitt zusammengefaßt werden.

**151. Die Anlegung von Gewebekulturen und ihre verschiedenen Arten.** Um die im Objekt vorhandenen optischen Faktoren und die in der Gewebezucht gebräuchlichen Fachaushdrücke kennenzulernen, soll zunächst die Technik in

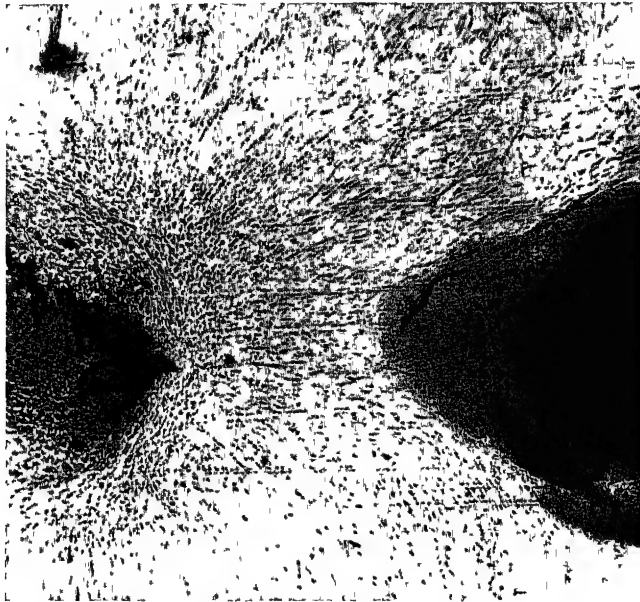


Abb 208 Gewebekultur (Deckglaskultur) mit einem Implantat aus embryonalem Gehirn (rechts) und aus embryonalem Herz (links). Zwischen den Implantaten breitet sich der Wachstumshof der Fibroblasten aus. Obj. Apochrom WINKEL 40 mm, Hom. T. T. 2 cm, Kondensor 1,4 ohne Frontlinse, Irisblende bei 20, Phot. 10 cm, W. Agfa Gelbfilter.

ihren Grundzügen geschildert werden<sup>1</sup>. In der Hauptsache handelt es sich bei jeder Art von Gewebezucht um das Überführen (Explantation) von lebensfrischen Gewebestückchen (Implantat) aus dem lebenden Organismus in ein geeignetes Nähmedium, wo sie dann unter vollkommen sterilen Bedingungen ihre Lebensfähigkeit weiter entfalten, d. h. sich vermehren und wachsen können. Ein Teil der Zellen des Implantats geht nach kurzer oder längerer Zeit zugrunde, ein anderer Teil wandert aber aus dem Implantat in das Nähmedium heraus und bildet, indem er sich teilt, einen Wachstumshof um das Implantat herum (Abb 208 u 209). Das „in vitro“ gezuchtete Gewebe ist stets nur im Wachstumshof enthalten. Hier wachsen, teilen und differenzieren sich die Zellen je nach der Beschaffenheit des Nährbodens und nach der Art der gezuchteten Gewebe ein paar Tage lang oder auch länger. Nach einer bestimmten Zeit erschöpft sich jedoch die Kultur und muß überimpft werden. Dann schneidet man einen Teil des gezuchteten Gewebes aus der alternierenden Kultur heraus und überführt ihn in das frische Nähmedium. So gelingt es, monate- und jahrelang dasselbe Gewebe weiterzuzüchten.

Zur Zucht eignen sich am besten die Gewebe von Embryonen oder ganz jungen Lebewesen, welche noch zahlreiche teilungsfähige Zellen enthalten. Es

<sup>1</sup> Vgl. A. FISCHER (1), R. H. ERDMANN (1), G. LLOYD (1), F. R. DIMUTH (1), E. C. CRACIUN (1), wo die Technik der Gewebezucht eingehend geschildert ist.

ist jedoch oftens gelungen, auch aus erwachsenen Lebewesen Gewebe zu züchten. Als Nährboden verwendet man entweder physiologische Salzlosungen (flüssige Kulturen nach M. R. und W. H. LEWIS) oder das Blutplasma (Plasmakulturen, zuerst von G. R. HARRISON [1906] angegeben). Was die Form der Kulturen anbelangt, unterscheidet man zwischen Deckglaskulturen und Flaschenkulturen.

Die Deckglaskulturen werden in der Form eines hangenden Tropfens auf einem Deckglas oder einem Glimmerplättchen („Mica“) angelegt und in hohlgeschliffenen Objektträgern luftdicht eingeschlossen (Abb. 210). In den Deckglaskulturen mit flüssigem Medium wandern dann die Zellen aus dem Implantat auf die Deckglasfläche und bilden hier die Schicht des gezüchteten Gewebes.

Die Deckglaskulturen mit Blutplasma werden mit einem Tropfen noch flüssigen Plasmas angelegt. Das Implantat wird in einem Tropfen RINGER-, RINGER-LOCKE- oder TYRODE-Lösung, der etwas Embyonalextrakt beigemischt ist, in den Plasmatriopten untergebracht. Dieser letztere gerinnt dann leicht und gleichmäßig infolge der Berührung mit dem Implantat und der Wirkung des Embyonalextrakts. Das Implantat liegt dann in einer optisch fast vollkommen homogenen zarten Gallerte aus frisch gewonnenem Blutplasma, auf deren Oberfläche der Wachstumshof sich bildet.

Die Flaschenkulturen werden in den sog. CARRÉL-Flaschen (Abb. 211) angelegt, die die praktischste Form der Kulturschalen für Dauerkulturen darstellen. Wie aus der Abb. 211 ersichtlich ist, besteht im einfachsten Fall der Boden und die Decke der CARRÉLschen Flasche aus einem Stück. Sie sind ganz flach, aber nicht vollständig eben. Die Flaschen sind rund-scheibenförmig, können

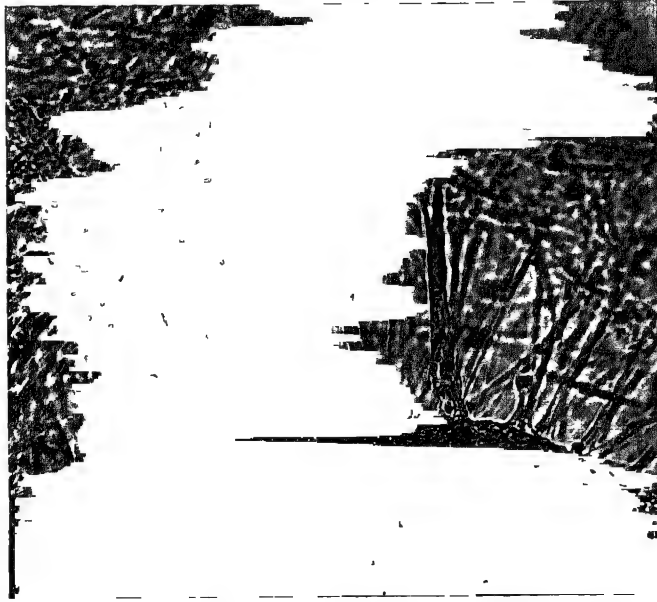


Abb. 209 Randzucht von Nierengewebe in 1 Tropfen mit ausgespannten und ausgeschiedenen Zellen. Oben: Zellkultur, unten: Mesenchym. Oben: Zeiss Apoch. 100 $\times$  (Objektiv 10 mm), Kammerlänge 51 cm, Kondensor 14 ohne Projektion, Projektion 10 mm, Projektionslampe 2 W, Grünfilter.

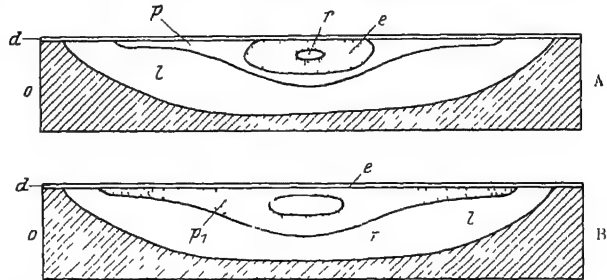


Abb. 210 Schematische Darstellung einer Deckglaskultur im medianen Längsschnitt. Etwa 4-mal vergrößert.

A: Kultur nach 1 Tag; B: Kultur nach 2 Tagen. d = Deckglas, e = Explant, l = Objektträger, p = Plasmatriopt, l = Luftkammer, e = Explant, p = in 1 cm bildeter Teil des Explantats, p<sub>1</sub> = Wachstumshof. (Aus G. TRIVITT, Abb. 359a, b, S. 198.)

aber verschieden groß und verschieden hoch sein. Von ganz großen Formen abgesehen, ist ihr Durchmesser meistens so gewählt, daß sie auf dem Mikroskoptisch bequem untergebracht werden können. Ihre Höhe schwankt zwischen 1 und  $2\frac{1}{2}$  cm. Auch der Bau der Flaschen zeigt insofern Unterschiede, als man neben Formen, die aus einem Stück angefertigt sind, auch solchen begegnet, wo die Decke oder der Boden oder beide aus besonderen Glasscheiben gebildet werden. Vielfach können diese Glasscheibchen in einer Vertiefung, d. h. näher zum Boden der Flasche, liegen, was für die Einstellung bei stärkeren Vergrößerungen vorteilhafter ist. Flaschen mit Einlegestücken aus Glas bieten überhaupt günstigere optische Bedingungen, weil die dünnen Deckgläschen optisch vollkommen rein und eben sind. Ob dann die Flasche einen „Hals“ oder zwei einander gegenüberliegende „Halse“ hat, ist bei der mikrophotographischen Arbeit gleichgültig. Wichtiger ist dagegen die Schichthöhe des Nährbodens. Daß diese durchschnittlich höher sein wird als bei den Deckglaskulturen, ist leicht verständlich, handelt es sich doch um Nährboden, auf denen die Kultur wochenlang wachsen soll. Die Plasmaschicht mit der Kultur wird noch mit einer RINGER-LOCKE- oder TYRODE-Lösung und Embryonalextrakt bedeckt, die dann in bestimmten Zeitabständen gewechselt werden muß.



Abb 211. CARRELsche Flaschen (Aus G. LEVI [2, Abb 371, S. 538])

**152. Die heizbaren Kasten, Tische und Kammern.** Wird der Mikrophotograph vor die Aufgabe gestellt, eine Gewebekultur mikrophotographisch abzubilden, so wird zunächst festzustellen sein, ob das Kulturpräparat bei Zimmertemperatur auf dem Mikroskoptisch liegen kann oder ob besondere Vorkehrungen getroffen werden müssen, um das Präparat bei einer konstanten Temperatur zu halten. Im letzteren Fall wird man genötigt sein, entweder das ganze Mikroskop mit dem Präparat in einem eigens dafür konstruierten Heizkasten aufzustellen oder einen heizbaren Tisch zu benutzen. Der Vorteil der Heizkasten ist, daß das Präparat ganz von der warmen Luft umgeben und nicht nur von unten gewärmt wird, was bei der schlechten Wärmeleitung des Glases und der Dicke der hohlgeschliffenen Objektträger stets unzuverlässig ist. Auch kann man tagelang die Kultur in den Heizkasten halten und so die verschiedenen Vorgänge ihrer Entwicklung fortlaufend in Zeitrafferaufnahmen oder in einzelnen mikrophotographischen Aufnahmen festhalten. Ein Nachteil der Heizkasten ist dagegen, daß sie die Handhabung der Mikroskopschrauben erschweren, wenn auch Einrichtungen vorhanden sind, um die Einstellschrauben von außen her betätigen zu können. Ist aber etwas an der Spiegelstellung, am Kondensor oder am Präparat zu ändern, so wird man schwer zu diesen gelangen, und vor allem ist die Verschiebung des Präparats mit den Kreuztischschrauben erschwert. Ein anderer Mangel der meisten Heizkasten ist weiter, daß die Temperatur im Kasten nicht gleichmäßig ist und man nie genau wissen kann, ob die Temperatur, die das Thermometer zeigt, auch für das Präparat am Mikroskoptisch gilt. Die verschiedenen Konstruktionsformen der Heizkasten lernt man am besten aus den schon erwähnten Lehr- und Handbüchern kennen.



Die heizbaren Objektische, die ebenfalls verschiedene Konstruktions-typen zeigen und von Jahr zu Jahr vervollkommenet werden, hindern natürlich nicht bei der Handhabung des Mikroskops, manchmal jedoch bei der Anwendung von Dunkelfeldkondensoren, da sie den Objektabstand vom Kondensor wesentlich erhöhen und dabei oft eine so kleine Öffnung haben, daß der Kondensor nicht hoch genug gehoben werden kann. Alle diese Mängel ließen sich jedoch beheben<sup>1</sup>, ein grundsätzlicher Nachteil ist aber, daß die Temperatur in der Ebene des Heztisches meistens höher ist als in der Ebene der Deckglaskultur. Man kann die Vorteile der Heizkasten mit denen der Heztische vereinigen und die Nachteile ausschalten, wenn man die Kultur in einer Heizkammer unterbringt, wie PÉTERET (2) sie zu mikroskopischen Arbeiten (s S 350) angegeben hat. Die Heizkammer umfaßt nur das Präparat, nicht aber das Mikroskop, welches also ebenso benutzt werden kann wie sonst bei der mikroskopischen Arbeit. Da wiederum in der Heizkammer das ganze Präparat von gleichmäßig erwärmter Luft umgeben ist und nicht nur einseitig von unten erwärmt wird, so ist die Temperatur im Präparat stets die gleiche, die das Thermometer der Heizkammer zeigt.

In sehr vielen Fällen wird man jedoch auf die Heizkasten und Heztische ruhig verzichten und die Aufnahmen bei Zimmertemperatur ausführen können, denn eine niedrigere Temperatur schadet während der verhältnismäßig kurzen Zeit der Aufnahme (selbst wenn die Vorbereitungen bis zu einer Stunde dauern) gar nichts. Nur bei Aufnahmen, die länger dauern — seien es kinematographische oder mikrophotographische Serienaufnahmen — und bei denen die Lebensvorgänge in der Kultur in ihrem natürlichen Ablauf registriert werden sollen, ist man unvermeidlich auf Heizkasten, Heztische oder Heizkammern angewiesen. Verzichtet man aber während der Aufnahme auf die Einrichtungen, mit denen man die Temperatur während der mikroskopischen Einstellung auf derselben Höhe halten kann, bei welcher die Kultur gezüchtet wird, so treten in der Regel die Tropfen auf, von denen schon früher die Rede war (s S 322). Wie man dann ihre störende Wirkung auf das Bild vermeiden soll, ist ebenfalls auf S 322 schon angegeben worden.

**153. Die optischen Eigenschaften der Deckglaskulturen** (vgl S 114). Die erste Frage bei der mikrophotographischen Aufnahme einer Deckglaskultur ist, ob sie auf Glas oder auf Glimmer angelegt wurde. Die Glimmerplättchen haben für den Gewebezüchter so viele Vorteile, daß sie deshalb sehr verbreitet sind. Sie sind billiger und weniger zerbrechlich als die Deckgläser, lassen sich bequem auf den Objektträgern befestigen oder von dort abheben, und die Kulturen wachsen recht gut auf Glimmer. Zu mikrophotographischen Aufnahmen sind sie jedoch weniger geeignet als die Deckgläser, und zwar 1. weil sie optisch nicht rein sind, sondern fast immer Kratzer und Spalten aufweisen (vgl Abb 212), 2. aber, weil sie aus feinen Plättchen einer doppelbrechenden Substanz bestehen, die den Strahlengang in verschiedener Weise beeinflussen kann. Selbst dann, wenn die einzelnen Blätter des Plättchens fest zusammenkleben und keine Luft oder Flüssigkeit zwischen ihnen eingedrungen ist, wird der Einfluß, den der Glimmer auf die Strahlenvermischung ausübt, daran zu merken sein, daß die Objektive eine weniger scharfe Abbildung liefern als man von den gleichen Objektiven mit Deckgläsern zu erhalten pflegt. Solche rein von den Störungen in der Strahlenvermischung verursachten optischen Mängel werden immerhin weniger auffallen als die groberen Verunreinigungen des Glimmers, nämlich die Kratzer oder das

<sup>1</sup> Mit dem Heztisch von K. B. EISENBERG (2) kann man in Hellfeld ebensogut wie in Dunkelfeld einstellen. Der Apparat weist auch verschiedene andere Vorteile auf.



Abblättern der einzelnen Schichten (bei öfters gebrauchten und gereinigten Glimmerplättchen besonders stark bemerkbar!) Wo es nur möglich ist, sollten also die Kulturen für mikrophotographische Aufnahmen gleich auf Deckgläsern angelegt werden. Manchmal lassen sich die Kratzer an den Glimmerkulturen dadurch beseitigen, daß man ein dünnes Deckglas mit einem Tropfen Immersionsöl auf die Stelle des Glimmers auflegt, wo die Aufnahme stattfinden soll. Ebenso kann man das Glimmerplättchen mit Dammarlack dünn überstreichen.

Gleichgültig, ob die Kultur auf Glimmer oder Glas angelegt wurde, soll die freie Oberfläche vor der Aufnahme stets sorgfältig gereinigt werden. Diese allgemeine Maßnahme hat bei den Deckglaskulturen deshalb eine erhöhte Bedeutung, weil hier infolge der Umrandung mit heißem Paraffin recht häufig kleine Paraffintropfen vorkommen. Eine optisch saubere Oberfläche erhält man also sicher nur nach vorheriger Reinigung mit Xylol, Chloroform usw., wobei

man natürlich vermeiden muß, Paraffin von der Umrandung auf die Glas- oder Glimmerfläche zu verschmieren.

Ob man nun das Präparat in Hellfeld- oder Dunkelfeldbeleuchtung, bei schwacher oder starker Vergrößerung einstellt, wird die Tropfenform der Kultur die scharfe Einstellung stets mehr oder weniger beeinflussen. Die gezuckerten Zellen und Gewebe liegen an verschiedenen Stellen der Kultur, in verschiedenen Ebenen in der Mitte, wo das Implantat liegt, am mei-

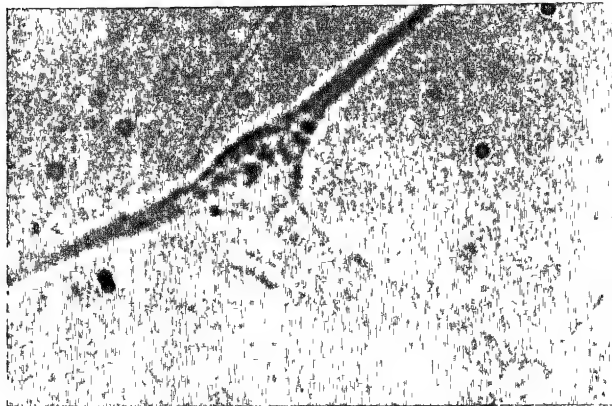


Abb. 212 Pluripotente Nervenzelle (Neuroblast) aus einer 36 Stunden alten Deckglaskultur

Hom. Imm. Zeiss Obj. 90fach, num. Ap. 1,25 Homal IV, Kammerlänge 46 cm, Kondensor 1,4 ohne Frontlinse, Irisblende bei 25, Punktlichtlampe 2 W., Glanfilter, Belichtung 60'', Negativ auf 100fach vergrößert (Die im freien Schilde sichtbaren Linien sind von Staubpartikeln verursacht)

sten von der Deckglasoberfläche entfernt, am Rande des Wachstumshots dieser am nächsten. Dazu kommt noch, daß bei gut wachsenden Kulturen nach kurzer Zeit die Zellen nicht nur auf der Oberfläche der Plasmaschicht weiterwachsen, sondern auch in das Plasma eindringen und mehrere übereinander gelagerte Schichten bilden (vgl. Abb. 210 u. 213). Aus diesen Eigenheiten der Deckglaskulturen folgt also, daß man eine günstige scharfe Einstellung im ganzen Schilde nur schwerlich erzielen kann, und zwar bei dichtbewachsenen Kulturen, bei kugligen Plasmatriöpfen und bei starken Vergrößerungen schwieriger als bei noch mäßig entwickelten Kulturen bei flach gestalteten Plasmatriöpfen oder bei schwachen Vergrößerungen. Die Tiefenschärfe der Objektive wird natürlicherweise auch hier eine entscheidende Rolle spielen. Diesbezüglich und was den freien Arbeitsabstand der Objektive anbelangt, sei auf die Ausführungen S. 319 hingewiesen. Günstige optische Bedingungen findet man in Kulturen, die von vornherein in Form von flachen Tropfen angelegt wurden, möglichst so, daß das Implantat von einer ganz dünnen Plasmaschicht umgeben ist. Ist man nicht an eine bestimmte in der Nähe des Implantats liegende Stelle gebunden, so kann man für die Aufnahme den Rand des Wachstumshots wählen, wo die Zellen in einer fast planparallelen dünnen Schicht liegen. Hier

wird man selbst mit den stärksten Apochromaten die Zellstruktur scharf einstellen können

Die Kontraste in den photographischen Aufnahmen von Deckglaskulturen werden sehr verschieden sein je nach den Vergrößerungen, mit denen man arbeitet (vgl. Abb 208 u. 209), nach der Art des gezuchteten Gewebes (vgl. Abb 103, 212, 213, 214) und nach dem biologischen Zustand der Kultur (vgl. Abb 213). Im allgemeinen ist stets damit zu rechnen, daß die biologisch wertvollsten Elemente der Kultur, die jungen teilungsfähigen Zellen, in frischem Zustand optisch fast leer sind und sich vom Medium optisch kaum abheben (Abb 212, 215). Der Brechungsunterschied zwischen Zellkörper und Plasma ist bei solchen Zellen stets so gering, daß es oft Muhe kostet, die Grenzlinien des Zellkörpers deutlicher sichtbar zu machen. Noch schwieriger ist unter diesen Umständen, Strukturen innerhalb der Zelle in lebendem Zustand darzustellen, denn schon die Umrisse des Zellkerns sind in jungen und gesunden Zellen der Kultur nur sehr undeutlich sichtbar (vgl. Abb 212, 215).

Günstigste graphische Bedingungen bieten die gezuchteten Zellen und Gewebe, wenn sie etwas älter sind oder durch bestimmte Versuchsbedingungen (Temperatureinflüsse, chemische Wirkungen, pathologische Vorgänge) ausgesprochene Strukturveränderungen zeigen (Abb 213). Bei allen Wirkungen, die das normale Zelleben irgendwie ungünstig beeinflussen — selbst wenn die Bedingungen des Zellebens dadurch nicht abnorm geändert werden — reagiert die Zelle in charakteristischer Weise durch Erzeugung von Körnchen in ihrem Protoplasma, die zuerst fein und klein die Zelle mehr und mehr ausfüllen, später zu größeren Kugeln oder Tropfen anwachsen und miteinander zusammenfließen. Ihre Brechung wie ihre Größe sind recht verschieden, es werden also im Bild einige von ihnen stärker, andere schwächer hervortreten. In allen Fällen bietet eine solche gekornelte Zelle ein an graphischen Kontrasten reicheres Objekt als die jungen Zellen. Vor allem wird der Kern als eine runde oder ovale strukturlöse Stelle zwischen den Körnchen deutlicher sichtbar (Kernhof). Ähnliche Vorteile wie bei älteren und degenerierten Zellen hat man in bezug auf die graphischen Kontraste bei gezuchteten Zellen, die in ganz normalem Zustand schon Pigmentkörnchen oder andere Zelleinschlüsse enthalten wie z. B. die Pigmentepithelzellen der Retina, Sarkom- und Katzinomzellen, Makrophagen, Mesenchymzellen von Wundbellosen usw. (Abb 214).

**151 Die Wahl der Objektive.** Selbstverständlich ist auch hier bei den Gewebekulturen das Vergrößerungsmaß auf die Kontrastwirkung des photographischen Bildes von demselben entscheidenden Einfluß wie allgemein bei jedem lebensfrischen Objekt (s. S. 319). Auch bei der Wahl der Apertur des abbildenden Systems sind dieselben Gesichtspunkte maßgebend, welche für die lebenden

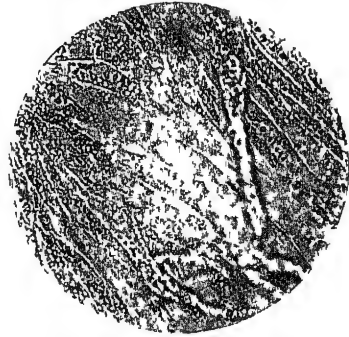


Abb. 213. Gezuchtete embryonale, quer gestrichelte Muskelzellen (Myoblasten) 3 Tage alte Deckglaskultur. Die Zellen sind stark gekornelt, stellenweise auch die Kerne sichtbar. Unterhalb der scharfgestellten Ebene erscheinen flacker liegende Fasern unscharf.  
Obj. 7/18, Ap. 0,96  
Kondensor 1,4 ohne bei 25, Grünfilter, Punktlichtlampe 2 W, Belichtung 25



Abb. 214. Gezuchtete Pigmentzellen aus der Retina des Hühnchens 2 Tage alte Deckglaskultur. Obj. 7/18, Ap. 0,96, Kondensor 1,4 ohne Frontlinse. Irisblende offen. Oben links die Spitze einer Mikrovillie.

Objekte allgemein gelten (s S 317ff) Gerade in der Mikrophotographie der Gewebekulturen wird man am häufigsten die Erfahrung machen, daß die Aufnahmen, die man mit einem schwächeren Objektiv und nachträglicher Bildvergrößerung (durch Kameraauszug oder Vergrößerung beim Kopieren) erzielt, bessere graphische Kontraste liefern als die stärkeren Objektive bei derselben Bildvergrößerung Diese Tatsache hat hauptsächlich bei Aufnahmen mit starken Objektiven eine besondere Bedeutung, doch darf sie gerade hier nicht kritiklos verallgemeinert werden Am besten werden die hier mitwirkenden und entscheidenden Faktoren aus einigen Beispielen erkennbar

Soll die Form der gezuchteten Zellen mit ihren feinen, flachen und durchsichtigen Fortsätzen scharf abgebildet werden, so hat man die Auswahl zwischen starken Achromaten, starken Trockenapochromaten und den Immersionslinsen Angenommen, daß z B eine stark verzweigte Mesenchymzelle mit feinen Fortsätzen das Objekt der Aufnahme darstellt und diese Fortsätze nicht ganz genau in derselben optischen Ebene liegen, so wird man mit dem Achromat 40fach (num Ap 0,65) und Ok 15fach ein günstigeres Bild erhalten als mit Apochrom 4 mm (40fach, num Ap 0,95) oder mit hom Imm 60fach (num Ap 0,85), und zwar deshalb, weil bei der geringeren Tiefenschärfe der letzterwähnten Objektive ein Teil der Zellfortsätze, soweit sie nämlich nicht genau in der Ebene der scharfen Einstellung liegen, unscharf abgebildet werden Noch auffallender wird der Unterschied, wenn man die Aufnahme mit Achromat 40fach und Ok 10fach ausführt, sie beim Kopieren linear  $1\frac{1}{2}$  fach vergrößert und dieses Bild mit einer Aufnahme vergleicht, die man mit hom Imm 60fach und Ok 15fach (bei derselben Kammerlänge) erzielt hat Denselben Unterschied zugunsten des schwächeren Objektivs bemerkt man, wenn man gezuchtete Neuroblasten mit ihren Fortsätzen bei einer starken Vergrößerung photographieren will Hier ist man auf Immersionslinsen angewiesen, da die Fortsätze so fein sind, daß manche wichtige Einzelheiten bei schwächeren Objektiven überhaupt nicht zur deutlichen Abbildung gelangen Unter den Immersionslinsen hat man immerhin die Wahl zwischen solchen, deren Apertur unterhalb oder bei 1 liegt, und solchen, die die stärksten Aperturen (1,3—1,4) aufweisen Wählt man die ersteren, so wird man von der ganzen Zelle mit ihren Fortsätzen ein zwar nicht vollkommen scharfes, aber gleichmäßig scharfes Bild erhalten, während mit den stärksten Apochromaten eine bestimmte Stelle, auf die man scharf eingestellt hat, zwar vollkommen scharf, andere Teile jedoch unscharf erscheinen und dadurch die Wirkung des Bildes ungünstig beeinflussen Im allgemeinen eignen sich für Aufnahmen von einzelnen Zellen in Plasmakulturen bei starken Vergrößerungen am besten die hom Immersionslinsen 60fach mit der num Ap 0,85 oder die Wasserimmersionslinsen 60fach mit der num Ap 1,2

Bei den Aufnahmen von Zellstrukturen innerhalb der Zellen werden die oben erwähnten Immersionslinsen gleichfalls gute Dienste leisten Oft und zwar gerade bei der Abbildung der feinsten Strukturen (der Mitochondrien und Fibrillen in den Zellen, der undulierenden Membran der Makrophagen u a ), sind jedoch die Immersionslinsen mit den stärkeren Aperturen denen von den schwächeren Aperturen unbedingt überlegen Man muß natürlich unter mehreren Systemen desselben Aperturbereichs das mit der verhältnismäßig längeren Brennweite wählen, denn die mit der kürzeren Brennweite können bei der scharfen Einstellung Schwierigkeiten bereiten oder sie ganz und gar vereiteln Recht augenfällig ist hier der Unterschied zugunsten des stärkeren Objektivs, wenn man z B die Mitochondrien in jungen Herzblasten das eine Mal mit dem Immersionsobjektiv 60fach, num Ap 0,85 und Ok 15fach, das andere Mal mit dem Immersionsobjektiv 90fach, num Ap 1,25 (frühere Bezeichnung

$1/12''$ ) und Ok 10fach bei derselben Kammerlänge (oder mit demselben Homal IV und derselben Kammerlänge) photographiert. Auch im ersterwähnten Fall sind die Mitochondrien, und zwar im selben Vergrößerungsmaß, sichtbar, jedoch bedeutend unscharfer und deshalb auch weniger wirksam abgebildet als im zweiten. Benutzt man aber die starken Immersionslinsen, so darf das von ihnen gelieferte Bild nicht allzu stark weiter vergrößert werden. Die untere Grenze der erforderlichen Vergrößerung sollte man keinesfalls überschreiten. Abgesehen davon, daß bei der körperlichen Form der Objekte, der gekrümmten Oberfläche der Kultur und der geringen Tiefenschärfe der Objektive die Bedingungen der scharfen Abbildung nie einwandfrei erfüllbar sind und die dadurch bedingten Fehler der Abbildung der Bildvergrößerung entsprechend gesteigert werden, erhält man von den an und für sich kontrastarmen Strukturen um so schwächer ausgeprägte graphische Kontraste, je stärker die Bildvergrößerung. Recht scharfe Bilder mit guten Kontrasten erhält man z. B. von gezüchteten Neuroblasten mit der hom. Immersionslinse 90, num. Ap. 1,25 und dem Phoku (Homal H, Eigenvergrößerung 5,4) im Bildformat  $4,5 \times 6$ . Vergrößert man das Bild beim Kopieren auf das Format  $6 \times 9$ , so bleibt zwar die Abbildung noch scharf genug, die Kontraste erscheinen jedoch weniger ausgeprägt. Dieselbe Aufnahme mit dem Objektiv hom. Imm. 60fach, num. Ap. 0,85 läßt sich dagegen ohne Einbuße an Kontrasten auf das Format  $6 \times 9$  vergrößern.

**155. Die Kontraste zwischen Objekt und Hintergrund.** Bezüglich der Hebung der Kontraste durch eine Beleuchtung mit engen zentralen Lichtbündeln (eng zusammengezogener Irisblende) oder durch Vitalfärbungen und Farbenfilter, wurde das Notige auf S. 323 ff. schon gesagt. Was die Öffnung der Aperturblende betrifft, sei jedoch hier bemerkt, daß eine allzu enge Blendenöffnung oft ungünstige Wirkungen haben wird, denn die Struktur des Blutplasmas, namentlich die dichte Kornelung und die Fadchen in 2—3 Tage alten Kulturen, werden bei einer solchen Beleuchtung scharfer sichtbar und liefern für das Bild einen unruhigen Hintergrund (Abb. 200). Es ist überhaupt eine der schwierigsten Aufgaben bei Aufnahmen von Deckglaskulturen den Hintergrund rein und hell zu halten. In den meisten Aufnahmen erscheinen kleine Flecken und Schatten auch dann, wenn man solche während der subjektiven Beobachtung gar nicht wahrgenommen hat. Sie ruhen zum Teil von der kolloiden Struktur des Blutplasmas her, zum Teil von tiefer liegenden Zellen oder Zelltrümmern (vgl. Abb. 213 und 216 B). Liegen sie unterhalb der eigentlichen Objekte, so werden sie natürlich die Deutung des Bildes wesentlich erschweren, sind sie aber zwischen den Zellen sichtbar, so wird dadurch das Bild unruhig. Selten wird es gelingen, sie aus dem Bild vollkommen auszuschalten, am besten noch bei ganz jungen Plasmakulturen. Da sie bei einer engen Blende stärker hervortreten als bei einer weiten Blendenöffnung, wird man bei der Einstellung die Irisblende nicht weiter zusammenziehen, sobald im Medium eine Struktur bemerkbar wird. Sind die Kontraste noch nicht genügend ausgeprägt, so versuche man lieber auf andere Weise sie zu heben (durch Farbenfilter, polarisiertes Licht!).

In diesem Zusammenhang sei auch ein anderer Umstand erwähnt, welcher oft dafür verantwortlich ist, daß der Hintergrund im photographischen Bild nicht hell genug erscheint und deshalb keine günstigen graphischen Kontraste entstehen können. Das Blutplasma, auf dem die Zellen photographiert werden, verschluckt nämlich einen Teil der Beleuchtungsstrahlen, und zwar am stärksten gerade die kurzwelligen. Je höher also die Plasmaschicht ist, durch welche die Strahlen zum Objektiv gelangen, um so mehr wird von ihnen im Medium zurückgehalten werden. Subjektiv bemerkt man bei einer günstigen Beleuchtung kaum etwas von diesem Lichtverlust, oft sogar verzichtet man auf die volle

Leuchtkraft der Beleuchtung, um in einem gleichmäßig hellen Gesichtsfeld die Strukturfeinheiten besser wahrnehmen zu können. Die photographische Platte ist jedoch in dieser Hinsicht weit empfindlicher als das Auge und gibt von einer Plasmaschicht, die das Auge noch recht hell empfunden hat, einen schon als dunkel wirkenden Hintergrund. Diese Eigenschaft des Blutplasmas muß man daher sowohl bei der Wahl der Präparate wie bei der Wahl der Platten und der Bemessung der Belichtungszeit berücksichtigen. Einen gleichmäßig hellen Hintergrund erhält man also am besten bei flachen Deckglaskulturen (oder am Rande des Wachstumshofes) auf orthochromatischen Platten, die für die gelben Strahlen stark sensibilisiert sind (z. B. Silberemulsionplatten, PERUTZ, Agfa Extra-rapid), und bei etwas längerer Belichtungszeit als der optimalen für ein Dauerpräparat bei derselben Vergrößerung und Beleuchtung.

Alle diese hier zuletzt erwähnten Schwierigkeiten fallen weg, wenn das Medium der Deckglaskulturen eine Flüssigkeit ist. Die Kulturen in Nährlösungen nach LEWIS eignen sich daher aus optischen Gründen zur Mikrophotographie weit besser als die Plasmakulturen. Leider weisen sie dafür andere Nachteile auf (so sind sie z. B. nicht überimpfbar), die ihre allgemeinere Verbreitung bisher verhindert haben. Auch in den Plasmakulturen kommen jedoch des öfteren verflüssigte Stellen (Verflüssigungshofe) vor, wo die Zellen in einer optisch homogenen Flüssigkeit liegen (z. B. bei Neuroblasten-, Sarkom- und Makrophagenkulturen). Solche Stellen eignen sich dann aus den erwähnten Gründen zu mikrophotographischen Aufnahmen besonders gut.

**156. Die Flaschenkulturen.** Sie werden seltener zu mikrophotographischen Aufnahmen verwendet und auch dann, wenn solche stattfinden, wünscht man in der Regel nur Übersichtsbilder bei schwachen Vergrößerungen (bis 30- oder 40fach). Zu diesen Aufnahmen eignen sich auch die Flaschenkulturen trotz der verhältnismäßig hohen Gallertschicht und der spezifischen Form des Kulturgefäßes. Die Beschaffenheit des Glases, aus dem die Flaschen erzeugt werden, wird natürlich auch hier einen gewissen Einfluß auf die Güte der Abbildung ausüben. Flaschen, deren obere Wand aus einem Deckglas gebildet ist, eignen sich daher zu den Aufnahmen weit besser als solche, die aus einem Stück geblasen sind. Ist aber bei den letzteren die Wand aus dünnem, optisch homogenem Glas und liegt die dem Objektiv zugewendete Fläche in einer Ebene<sup>1</sup>, so erhält man auch so leidlich scharfe Bilder bei den schwachsten Vergrößerungen. Für Aufnahmen bei stärkeren Vergrößerungen (bei Objektiven von 20fach aufwärts, kommen nur Flaschenkulturen mit Deckglaseinlagen in Betracht. Selbst mit Immersionsobjektiven kann man von den Flaschenkulturen Mikrophotogramme erhalten, wenn der Boden der Flasche aus einem Deckglas gebildet ist und die Schicht des Nährbodens nicht allzu hoch ist. Man kehrt dann bei der Aufnahme die Flasche mit dem Boden nach oben und stellt durch die Gallertschicht auf die Kultur ein, wie bei einer Deckglaskultur. Daß der freie Arbeitsabstand des Objektivs die Höhe und Durchsichtigkeit des Nährbodens bei der Einstellung und der Abbildung dieselbe Rolle haben wird wie bei den Deckglaskulturen, versteht sich von selbst, ebenso, daß man die Flaschen bei der Aufnahme auf dem Mikroskopisch in einer passenden Unterlage standfest unterbringen muß.

**157. Besondere Beleuchtungsarten.** Für Aufnahmen mit Dunkelfeldbeleuchtung (Abb. 103 und 215c) oder im polarisierten Licht (Abb. 216) eignen sich nur die Deckglaskulturen, deren Abbildung im Dunkelfeld unter denselben Be-

<sup>1</sup> Gewöhnlich entsprechen die Kulturf Flaschen, wenn man sie nicht eigens so bestellt, diesen Forderungen nicht.

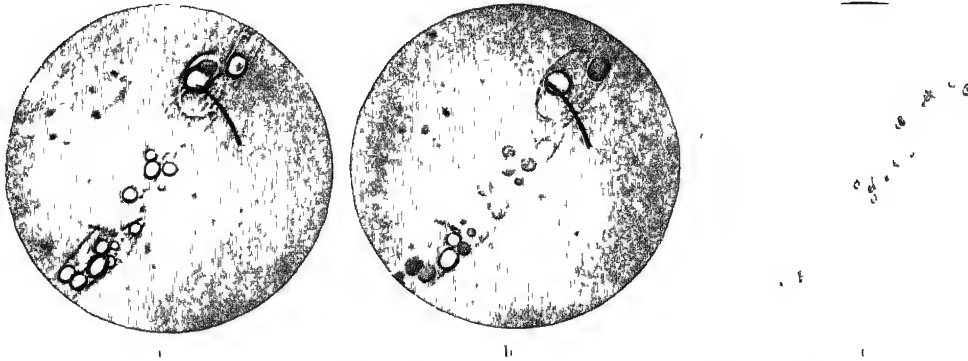


Abb. 215 Die Kontrastwirkung bei den verschiedenen Beleuchtungsarten

Dieselbe gezuchtete Fibroblastzelle a im Hellfeld (bei eng zusammengezogener Irisblende), b im Zwischenfeld, c im Dunkelfeld. Die hellen runden Gebilde sind Fetttröpfchen. Bei c sieht man deutlich den Einfluß der Einstellung (WELKERSche Regel). Die scharf eingestellten Tröpfchen erscheinen dunkel, die höher liegenden (oder größeren) hell. Hom. Imm. ZEISS 60fach, num. Ap. 0,85, „Phokor“, Paraboloid Wechselkondensor nach SIEDENTOPF.

dingungen erfolgt wie es auf S. 330 ff. geschildert wurde. Man kann also je nach der Auflösung, mit der das Objekt im Dunkelfeld abgebildet werden soll, die Gewebekulturen entweder mit Trockenkondensoren allseitig schief beleuchten oder aber die Immersionskondensoren mit kurzer Schnittweite benutzen und dann die Deckglaskultur in einer entsprechend niedrigen mit physiologischer Flüssigkeit gefüllten Glaskammer (s. S. 330) verschließen. Bekanntlich gibt es unter den hohlgeschliffenen Objektträgern Sorten, welche einen flachen Hohlchliff haben, und wo die Kammerhöhe bis zur Kultur nicht mehr als 1,5 mm beträgt. Gewebekulturen mit solchen Objektträgern eignen sich dann ohne weiteres zu Dunkelfeldaufnahmen mit den Paraboloidwechselkondensoren. Zu dem bizenförmigen Kondensor oder dem Kathoidkondensor müssen eigene noch niedrigere Kammer angefertigt werden. Auch dort, wo man mit den Trockenkondensoren von Gewebekulturen der üblichen Form (einer Kammerhöhe von etwa 4 mm) Dunkelfeldaufnahmen macht, ist es aus

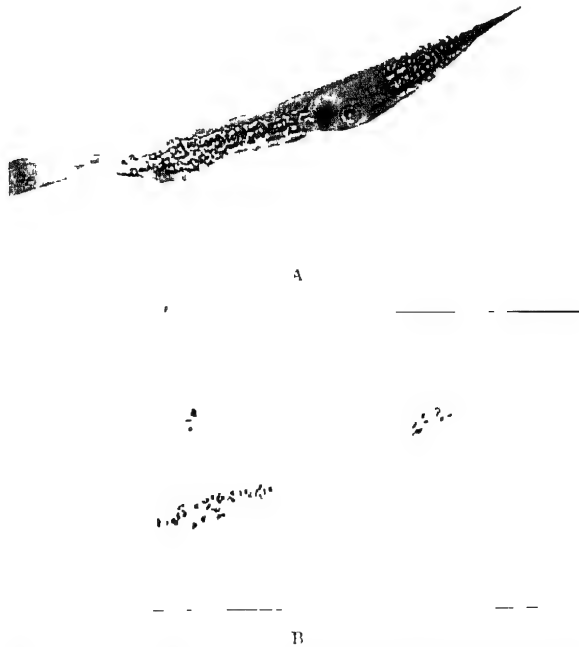


Abb. 216 Gezüchtete quergestreifte Muskelzelle (Myoblast) in polarisiertem Licht

A: bei paralleler Stellung der Nikols. B: bei gekreuzten Nikols. Hom. Imm. ZEISS Obj. 60fach, num. Ap. 0,85. Homal. IV. Kammerlänge 40 cm. Kohlenbogenlicht. Bei A ist das rechte Schuttblatt im Negativ mit einer dünnen Schicht Paraffinöl überzogen worden. Bei B nicht. Hier sind auch die schwach doppelbrechenden Nervenfortsätze, welche zu der Faser hingewachsen sind, sichtbar, ebenso aber Körnchen und Tröpfchen in den tiefer liegenden Plasmalagen.

den schon früher erwähnten Gründen (s S 330) ratsam, den Hohlschliff mit physiologischer Lösung auszufüllen<sup>1</sup>

Ein optimales Dunkelfeld, d h die erwünschte Kontrastwirkung, zwischen den helleuchtenden Strukturen und dem tiefdunklen Hintergrund wird man auch unter den günstigsten optischen Verhältnissen nur bei flüssigen Kulturen (LEWIS), bei ganz jungen Plasmakulturen oder bei solchen erhalten, wo die abzubildenden Zellen in einem Flüssigkeitshof liegen. Ist das Blutplasma gekornelt oder infolge des Alterns und durch die Stoffwechselprodukte optisch inhomogen geworden, so werden alle diese kolloiden Ultrastrukturen im Dunkelfeld noch weit stärker stören als im Hellfeld (s S 331). Zu Aufnahmen in polarisiertem Licht verwendet man dieselben Einrichtungen nach denselben Vorschriften, wie es auf S 274ff beschrieben wurde.

Es sei hier auch noch bemerkt, daß, während in vielen Fällen die Dunkelfeldaufnahmen von Gewebekulturen den Hellfeldaufnahmen — was graphische Kontraste anbelangt — unbedingt überlegen sind (vgl Abb 103), sie in anderen Fällen ärmer an Struktureinzelheiten erscheinen und manchmal sogar ein fremdartiges, ungewohntes und schwer deutbares Bild liefern (Abb 115c). Das ist meistens der Fall bei den Dunkelfeldaufnahmen von jungen Kulturen, deren Zellen an Strukturen sehr arm sind. Da auch die Brechungsunterschiede zwischen Zellkörper und Medium recht gering sind, bleiben die Zellgrenzen zum Teil unsichtbar, und nur aus der Lage einzelner Kornchengruppen erkennt man, wo die Zellen liegen. Fehlen diese Körnchen, so sieht man den optisch leeren Zellkörper überhaupt nicht. Von solchen im Dunkelfeld optisch leer erscheinenden Zellen erhält man oft gute, d h graphisch wirksame Bilder mit einer Zwischentfeldbeleuchtung (vgl Abb 115 b).

Wie weit man das ultraviolette Licht zur Mikrophotographie der Gewebekulturen vorteilhaft verwenden kann, ist derzeit noch kaum geklärt, jedenfalls fehlen verwertbare Angaben darüber in der Literatur. Man mußte annehmen, daß die Ausföhrung der Aufnahmen ohne besondere Schwierigkeiten möglich wäre, am besten bei den flüssigen Kulturen, aber auch bei den Plasmakulturen, obwohl in diesen ein wesentlicher Teil der UV-Strahlen verschluckt wird. Vielleicht hat das Bedenken, daß das UV-Licht den gezüchteten Zellen schaden konnte, die Gewebezüchter davon abgehalten, die Aufnahmen im UV-Licht zu versuchen. Dieses Bedenken wird wohl in den meisten Fällen unbegründet sein, denn eine kurze Bestrahlung mit UV-Licht schadet den Kulturen im allgemeinen nicht.

## C. Die Mikrophotographie beweglicher Objekte.

### XIV. Die Momentaufnahmen.

(Vgl zusammenfassende Darstellungen bei A KOHLER [8] und A CERNY [7])

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die lebenden Objekte als unbeweglich betrachtet und die Bedingungen der mikrophotographischen Abbildung unter dieser Voraussetzung erörtert. In Wirklichkeit gibt es unter den lebenden Objekten nur selten solche, welche als vollkommen unbeweglich gelten konnten, wie z B die nativen Zupf- und Quetschpräparate. Diese sind aber auch keine

<sup>1</sup> Der Einschluf in einer solchen, mit physiologischer Lösung ausgefüllten Kammer schadet den Gewebekulturen nichts, und man kann sie so mehrere Tage lang weiterzüchten. Oft wird man dabei die Beobachtung machen, daß die in der Flüssigkeit eingeschlossenen Kulturen besser wachsen als ohne die Flüssigkeit.

richtigen lebenden, sondern nur überlebende oder lebensfrische Objekte. Das Leben der Zellen und Zellverbände, die man in hangenden Tropfen oder in Kulturen mit dem Mikroskop betrachtet, hängt innigst mit Form- und Ortsänderungen zusammen, und die Geschwindigkeit, mit der sich diese Veränderungen vollziehen, wird begreiflicherweise die ganze mikrophotographische Arbeit, vor allem aber die Belichtungszeit, entscheidend beeinflussen.

**158. Einteilung der Objekte nach der Geschwindigkeit des Form- und Ortswechsels.** Was die Geschwindigkeit der Veränderungen anbelangt, so findet man unter den Objekten der mikroskopischen Forschung alle denkbaren Abstufungen. Um nur beim biologischen Material zu bleiben<sup>1</sup>, begegnet man z. B. in den Gewebezuchtungen Wachstumsvorgängen, welche erst nach mehreren Stunden oder Tagen merkbare Änderungen hervorrufen, bei der Pseudopodienbildung oder der Vakuolentleerung der Amöben wiederum solchen, wo die Form- und Strukturveränderungen sich innerhalb einiger Minuten abspielen, und schließlich hat man es beim Flimmerschlag, bei der Zuckung kontraktile Elemente (Vorticellastiel, Muskelfaser) oder bei den Ortsveränderungen freibeweglicher Zellen mit Vorgängen zu tun, deren Ablauf sich in Bruchteilen der Sekunde vollzieht. Im alltäglichen Sprachgebrauch pflegt man eigentlich nur die letzterwähnten Objekte, d. h. solche als beweglich zu bezeichnen, welche ihre Lage im Raum rasch wechseln und deshalb immer wieder aus unserem Augenkreis verschwinden. Der Mikrophotograph wird aber den Begriff der Beweglichkeit etwas weiter fassen müssen und jedes Objekt als beweglich bezeichnen, das während einer angemessenen Belichtungszeit Form- oder Ortsänderungen unterworfen ist. Wir haben dementsprechend in der Mikrophotographie für die Beurteilung der Beweglichkeit lebender Objekte keinen absoluten, sondern nur einen relativen Maßstab, nämlich das Verhältnis zwischen der Geschwindigkeit der im mikroskopischen Bild sich abspielenden Änderungen und der Belichtungszeit. Da bekanntlich die letztere von einer Anzahl mikroskopisch-optischer Faktoren abhängig ist, wird oft ein und dasselbe Objekt bei einer bestimmten Linsenfolge oder Beleuchtungsart noch als unbeweglich, bei einer anderen aber schon als beweglich gelten. Die Protoplastastromung in einer Amöbe proteus oder einem Myxomyzet wird z. B. bei einer Zeitaufnahme mit schwachen Objektsystemen und einer lichtstarken Beleuchtung (Punktlichtlampe) keine merkliche Störung der Bildschärfe hervorrufen, denn die veränderlichen Strukturelemente erscheinen im schwach vergrößerten Bild so klein, daß die Verschiebungen, welche sie in der verhältnismäßig sehr kurzen Belichtungszeit (1—2 Sekunden) erfahren, auf der Platte kaum zum Ausdruck gelangen. Bei stärkeren Vergrößerungen dagegen erfordert die geringere Lichtstärke der Beleuchtung eine längere Belichtungszeit, und die veränderlichen Strukturelemente wie auch ihr Ortswechsel erscheinen in einem vergrößerten Maßstab, bei dem man mit einer Zeitaufnahme kein scharfes Bild mehr erzielen kann. Als unbewegliche Objekte der mikrophotographischen Aufnahmen können bei jeder Linsenfolge und jeder Beleuchtungsart die Zellen und Zellverbände gelten, welche keine Eigenbewegung haben und gleichmäßig langsame Wachstumserscheinungen zeigen, wie z. B. die meisten Gewebekulturen oder die lebenden Gewebe *in vivo* und *in situ* (ausgenommen die Blutkapillaren mit strömendem Blut). Bei diesen wird man die Aufnahme stets als Zeitaufnahme ausführen und die günstigste Belichtungszeit unabhängig vom Objekt bestimmen.

<sup>1</sup> Die Bewegungserscheinungen in veränderlichen Objekten der leblosen Natur (Vorgänge der Mikrokristallisation, Strukturbildungen in Kolloiden, Brownsche Molekularbewegung usw.) fallen unter dieselben mikrophotographischen Gesichtspunkte wie die der lebenden Objekte.



konnen, gerade so wie bei den Zupf- und Quetschpräparaten oder den Dauerpräparaten

Von relativ beweglichen Objekten sprechen wir dort, wo bei der gegebenen Geschwindigkeit der Veränderungen die Zeitaufnahme nur innerhalb einer bestimmten Belichtungszeit möglich ist. Hierher gehören die schon erwähnten Beispiele der Pseudopodenbildung an amöboiden Zellen (Rhizopoden, Leukozyten usw.), dann alle Arten der Protoplasmaströmungen, ferner die Zellen mit kontraktile Vakuolen, durchsichtige Planktonorganismen mit pulsierenden Herzen oder mit einer Peristaltik des Verdauungstraktes usw. Es sei hier auch erwähnt, daß das starke Licht, dem die lebenden Objekte während der Belichtung ausgesetzt werden, die Protoplasmaabewegungen und auch sonstige Bewegungserscheinungen in der Regel stark zu beschleunigen pflegt. Die Protoplasmaströmung in einer Elodeazelle oder in einem *Amoeba sphaerionucleus*, die man beim Licht einer 75-Watt-Glühbirne so träge gefunden hat, daß man ohne Bedenken eine Zeitaufnahme mit 5 Sekunden Belichtungszeit noch zulässig hält, erscheint im Kohlenbogenlicht oder im konzentrierten Licht einer Punktlichtlampe derart beschleunigt, daß nunmehr allein die Momentaufnahme in Betracht kommen kann.

Wenn die Aufnahmen nur mit einer Belichtungszeit in Bruchteilen der Sekunde, d. h. als Momentaufnahmen, durchführbar sind, dann pflegt man die Objekte in der Mikrophotographie als ausgesprochen beweglich zu bezeichnen, gleichgültig, ob sie eine Eigenbewegung zeigen wie die Bakterien, Spirillen, Protisten, Sporen und Gameten, oder aber nur bewegliche Organellen aufweisen wie die festsitzenden Vorticellen, die Flimmerepithelzellen usw.

Die genauere Analyse der in den Objekten sich abspielenden Bewegungserscheinungen und die Abgrenzung der hier aufgestellten drei Kategorien hat in der Mikrophotographie lebender Objekte deshalb eine große praktische Bedeutung, weil die ganze Ausrüstung zur Aufnahme davon abhängen wird, in welcher Kategorie das aufzunehmende Objekt einzureihen ist. Für die Kategorie, welche die unbeweglichen Objekte umfaßt, gelten dieselben Vorschriften, die man allgemein bei Zeitaufnahmen zu befolgen pflegt. Wir brauchen uns also hier mit dieser Kategorie nicht weiter zu beschäftigen.

**159. Die Einrichtungen zu Momentaufnahmen.** In erster Reihe interessieren uns begrifflicherweise von den drei Kategorien die ausgesprochen beweglichen Objekte, da diese den Mikrophotographen vor Aufgaben stellen, die von den üblichen Zeitaufnahmen verschieden sind. In der Hauptsache kommen bei Momentaufnahmen solcher beweglichen Objekte folgende besondere Maßnahmen und Einrichtungen in Betracht<sup>1</sup>.

1. Ein Kameraschluß für Momentaufnahmen, welcher für mehrere Geschwindigkeiten in feinen Abstufungen verläßlich gebaut ist. Im allgemeinen genügt ein Kompuerschluß mit Einteilungen von  $\frac{1}{100}$  Sekunde bis  $\frac{1}{1000}$  Sekunde. Vorbildlich ist in dieser Hinsicht der Verschuß an der REICHERTSchen Mikrokamera oder der an der Spiegelreflexkamera von SCHEFFER (S. S. 167). Weniger leistungsfähig sind die Momentverschlüsse, welche sich nur mit einer bestimmten Geschwindigkeit öffnen und schließen, wie das z. B. beim Phoku und auch bei der ROMERSchen Kamera der Fall ist (vgl. dieses Handbuch II, V).

2. Eine Lichtquelle mit einer für die kurze Belichtungszeit genügenden Lichtstärke. Diese Frage ist selbstverständlich eng mit der Frage des Vergrößerungsmaßes der Abbildung und der Bildvergrößerung verknüpft. Das Licht einer Punktlichtlampe Typ 2 G (oder 2 W) wird auch zu Momentauf-

<sup>1</sup> Vgl. E. NAUMANN (I, 2) und M. RIKLI (I).

nahmen mit  $\frac{1}{100}$  Sekunde noch vollkommen genügen, wenn die Aufnahmen mit Anastigmaten oder schwachen Mikroskopobjektiven (bis zu der Eigenvergrößerung 10fach) und bei einem kurzen Kameraauszug erfolgen. Unzureichend wird es sein bei Momentaufnahmen mit Objektiven über eine Einzelvergrößerung von 20fach und mit einem längeren Kameraauszug. Hat man also Momentaufnahmen bei stärkeren Vergrößerungen und für ein größeres Bildformat vor, so ist man auf Kohlenbogenlicht angewiesen. Für Hellfeldaufnahmen sind die Schwachstromlampen noch lichtstark genug, für Dunkelfeldmomentaufnahmen jedoch, namentlich für die stärkeren Vergrößerungen (bewegliche Bakterien und Spirillen), muß man Kohlenbogenlampen von 15 bis 20 Amp Stromstärke verwenden.

3 Eine seitliche Beobachtung, mit der man das mikroskopische Gesichtsfeld wenigstens bis zum Moment der Belichtung, vorteilhafter jedoch auch während der Aufnahme, prüfen kann.

Allen diesen Forderungen entsprechen am besten die Aufsatzkamern, wie sie von den optischen Werkstätten von ZEISS, LEITZ, REICHERT, BUSCH oder FUSS geliefert werden. Wie an einer früheren Stelle (S 170) schon hervorgehoben wurde, eignen sich diese Kamern in erster Reihe und ausgesprochen zu Momentaufnahmen an lebenden, beweglichen Objekten. Frühere Konstruktionen von Spiegelkamern, die heute im Handel nicht mehr erhältlich sind, in manchen Laboratorien jedoch noch gute Verwendung finden, bewahren sich auch bei Momentaufnahmen von beweglichen Objekten vorzüglich, wie z. B. die Doppelspiegelreflexkamera von SCHEFFER (vgl. Abb 90). Das mikroskopische Bild kann auch hier subjektiv beobachtet werden bis zur Zeit der Belichtung, und das genügt in den meisten Fällen, da während der Momentbelichtung keine störenden Änderungen zu befürchten sind. Falls keine Aufsatzkamera zur Verfügung steht, können auch die großen und kleineren mikrophotographischen Apparate mit senkrechter Anordnung zu Momentaufnahmen verwendet werden, vorausgesetzt, daß sie mit einem Momentverschluß ausgerüstet sind. (Ist ein Momentverschluß am Stützblech der Kamera nicht angebracht, so stellt man ihn mit einem Reiter auf die optische Bank.) Besonders vorteilhaft ist es dann, wenn man auch hier das Bild durch die Austrittspupille des Mikroskops bis zum Moment der Belichtung kontrollieren kann, wie das beim großen Universalapparat der Firma LEITZ möglich ist. Sonst ist der Erfolg der Momentaufnahmen an beweglichen Objekten mit den Kamern ohne seitliche Beobachtung stets unsicher, denn während der Zeit, bis man die gefüllte Kassette anbringt, kann sich das Objekt aus dem Gesichtsfeld fortbewegen oder sonst irgendwie eine für die Aufnahme ungünstige Veränderung erfahren.

Selbst dann, wenn man mit Aufsatzkamern arbeitet und das Bild in der seitlichen Beobachtung scharf einstellt, mache man sich zur Regel, daß man zuerst die Kassette auflegen und den Kassettenschieber bis zum Rand ausziehen soll. Bei geöffneter Kassette soll dann der günstige Zeitpunkt zur Belichtung abgewartet werden. Befürchtet man, daß die Platte in der geöffneten Kassette während der Einstellung und des Wartens auf den günstigen Moment Licht erhalten könnte (bei älteren, nicht ganz lichtdicht schließenden Kassetten wird häufig der zur Lichtquelle gekehrte Rand der Platte geschwärzt), so empfiehlt sich, einen Streifen schwarzen Papiers an dem Griff des Kassettenschiebers als Lichtschutz für den Kassettenmund zu befestigen.

160. Die Objekte mit raschem Ortswechsel. Wie weit eine Kontrolle des Gesichtsfeldes während der Aufnahme unbedingt erforderlich ist, hängt zum großen Teil von der Geschwindigkeit ab, mit der das Objekt sich im Gesichtsfeld bewegt. Objekte mit rascher Bewegung, die in kurzer Zeit aus dem Gesichtsfeld

verschwinden, erfordern zwangsläufig einen mikrophotographischen Apparat mit seitlicher Beobachtung. Dabei ist nicht allein die Geschwindigkeit der Bewegung, sondern auch die Größe des Objekts im Verhältnis zum Umfang des Gesichtsfeldes maßgebend. Es ist leicht verständlich, daß Paramazien und ähnliche Infusorien rascher aus dem Gesichtsfeld fortschwimmen werden als Spirillen mit noch so raschen Bewegungen. Feiner sei bemerkt, daß Linsenfolgen, welche ein größeres Gesichtsfeld liefern, auch in dieser Hinsicht bessere Bedingungen zu den Aufnahmen bieten als umgekehrt (vgl. E. NAUMANN [2]).

Ist nun das Objekt im Verhältnis zu einem gegebenen Gesichtsfeld so klein, oder ist seine Bewegung so langsam, daß es erfahrungsgemäß in der Zeit, bis man die Mattscheibe mit der gefüllten Kassette wechselt, aus dem Gesichtsfeld nicht verschwindet, so kann man die Vertikalkammern zu den Momentaufnahmen fast so gut benutzen wie die Aufsatzkamern mit seitlicher Beobachtung. Allerdings wird man von dem ausziehbaren Balg, um die Beleuchtungsstärke nicht zu verringern, kaum Gebrauch machen.



Abb 217. Schwimmende *Artemia salina*. Momentaufnahme Mikropolar 20fach, Ok 10fach, Spiegelkassette (Abb 90), Beleuchtung: 1. Schmelz (Photographisch-techn. Inst. GROSS).

**161. Das Festhalten der Objekte.** Wo es zulässig ist, kann man größere oder rasch bewegliche Objekte durch mikrotechnische Kunstgriffe in ihrer Beweglichkeit so weit hemmen, daß sie sich nur langsam bewegen und während einiger Minuten sicher in einem und demselben Gesichtsfeld verbleiben. In der Methodik der Protistenkunde<sup>1</sup> sind eine Anzahl solcher Kunstgriffe bekannt: leichte Pressung der Objekte zwischen Tragglass und Deckglas, stark zähflüssige physiologische Einschlußmittel, wie Quittenschleim, Kariaghenschleim, Eiweiß, 2- bis 3proz. neutrale Gelatinelösungen usw. Man kann feine kleine Zwingen aus Haarschlingen, Glastaden u. a. am Tragglass einrichten oder in winzigen Paraffintropfen mit einer feinen Nadel (unter der Lupe) Löcher bohren und in

diesen die Objekte unterbringen (TCHACHOTINE [1]). Schließlich lassen sich größere frei bewegliche Infusorien (Stentor, Paramacien, Suktonen u. a.) mit sehr schwach konzentrierten Lösungen von Chloralhydrat-, Kokain- oder Nikotin betäuben. Solche Betäubungsmittel schaden jedoch den Zellen fast immer. Sind nun die Objekte auf die eine oder die andere Art gehindert, sich aus dem Gesichtsfeld zu entfernen, so kann die Momentaufnahme auch mit einer Vertikalkamera und ohne seitliche Beobachtung erfolgen.

Den Zwecken, die man mit Momentaufnahmen an beweglichen Objekten verfolgt (Aufnahmen von lebenden Infusorien, Planktonorganismen, Würmern, Larven usw.), genügen in der Regel schwache mikroskopische Vergrößerungen (Abb 217). Seltener ist man auf stärkere Linsensysteme angewiesen, wie z. B. bei Aufnahmen von Flimmerhaaren, kleinen Flagellaten, Trypanosomen, Spermien, Bakterien usw. Im letzteren Fall eignen sich die Dunkelfeldaufnahmen weitaus besser als die im Hellfeld, wobei man auch den Vorteil hat, daß man mit schwächeren Objektiven und dementsprechend in einem größeren Gesichtsfeld kontrastreiche Bilder erhalten wird<sup>2</sup>. Schon bei mittelstarken Objektiven (z. B. Obj. 40fach) erfordern die Momentaufnahmen im Dunkelfeld eine sehr licht-

<sup>1</sup> Vgl. APATHY (1), BELAÏ (3), P. METZNER (4).

<sup>2</sup> Vgl. R. ROCKWOOD und CH. SHEARD (1).

starke Beleuchtung, der selbst die Schwachstrom-Kohlenbogenlampen nur selten Genüge leisten

**162. Die Wahl der Linsen und die Beleuchtungsfrage.** Bei der Wahl des abbildenden Systems ist außer den schon erwähnten Momenten (Vorteile des größeren Sehfeldes, günstigere Beleuchtungsverhältnisse bei schwächeren Objektiven) auch die Tiefenschärfe des Objektivs zu berücksichtigen. Dieser Faktor spielt bei den Aufnahmen von frei beweglichen Objekten deshalb eine besondere Rolle, weil die Bewegungen selten auf eine Ebene beschränkt sind, und das Objekt bald in tiefere Schichten untertaucht, bald in höhere aufsteigt. Diese Vertikalbewegungen erschweren natürlich die scharfe Einstellung ohne seitliche Beobachtung in hohem Maße. Hat man eine seitliche Beobachtung, so ist es leicht, den Moment zu wählen, wenn das Objekt im Sehfeld gerade scharf sichtbar auftaucht, bei Vertikalkammern ohne eine solche Einrichtung wird man jedoch nie mit Sicherheit darauf rechnen können, daß das Objekt im Moment der Belichtung in der Ebene der scharfen Einstellung bleibt und nicht nach oben oder nach unten ausgewichen ist. Mit Objektiven, die eine große Tiefenschärfe haben, wird diese wechselnde Höhenlage des Objekts weit weniger stören, und schon aus diesem Grund empfiehlt sich also, zu den Momentaufnahmen möglichst schwache Objektive zu wählen. Glücklicherweise sind es gerade die größeren Objekte, welche solche ausgeprägte schlangelnde Bewegungen zeigen (z. B. Stentoren, Paramacien, Planktonorganismen), und von diesen erhält man schon mit schwachen Objektiven und mit improvisierten Momentapparaten (s. E. NAUMANN [1, 2]) deutliche Bilder, die dann weiter vergrößert werden können.

Bei Objekten, deren Sichtbarmachung nur mit starken Objektiven erfolgen kann, wie z. B. bei Spermien oder Spirillen, sind die Höhenunterschiede in der Lage des sich bewegenden Objekts meistens — der Feinheit des Objekts entsprechend — recht gering. Sie genügen allerdings, damit das Bild eines Spermiums, das man mit einem Immersionsapochromat von 2 mm scharf eingestellt hat, im nächsten Moment schon vollkommen unscharf erscheint, doch erhält man mit starken Objektiven, die eine größere Tiefenschärfe aufweisen, wie z. B. die Immersionslinse ZEISS 50fach oder 60fach (frühere Bezeichnung  $\frac{1}{7}$ , spez. X) oder trotz der schlangelnden Bewegung im Moment der Belichtung leidlich scharfe Bilder. Für Momentaufnahmen solcher feineren und frei beweglichen Objekte eignen sich im allgemeinen der Achromat 40fach und das Immersionssystem 60fach (für Dunkelfeld der Apochromat 8 mm statt Achromat 40fach) aus diesem Grund besser als die entsprechenden oder noch stärkeren Apochromate.

Die Frage, ob man Lichtfilter benutzen soll oder nicht, hängt streng von der Stärke der Lichtquelle ab. Ist diese für die Linsenfolge stark genug, so wird man die Lichtfilter bei den Momentaufnahmen mit denselben Vorteilen anwenden können wie sonst allgemein in der Mikrophotographie lebender Objekte. Reicht jedoch das Licht zur Momentaufnahme nur gerade aus, so wird man auf die Lichtfilter verzichten müssen. Ähnlich verhält es sich mit der Öffnung der Irisblende. Eine so enge Blendenöffnung wie bei Zeitaufnahmen wähle man bei Momentaufnahmen nur dann, wenn man mit sehr lichtstarken Lampen arbeitet, sonst soll die Blende stets breiter geöffnet sein als bei den Zeitaufnahmen. Das bezieht sich allerdings hauptsächlich auf die größeren Objekte. Bei feineren Objekten — soweit sie nicht besser im Dunkelfeld abgebildet werden — muß die Irisblende auch bei den Momentaufnahmen so stark zusammengezogen werden wie bei den Zeitaufnahmen. Die Blendenöffnung muß so eng sein, daß man ohne Rücksicht auf die Belichtungszeit erst ein gut definiertes mikroskopisches Bild vom Objekt erhält. Dann muß man eben für eine Lichtquelle sorgen, welche auch bei einer so engen Blendenöffnung noch zu der

Momentaufnahme lichtstark genug ist. Daß man zu den Momentaufnahmen stark sensibilisierte Platten mit möglichst hohen SCHEINER-Zahlen wählen wird, versteht sich von selbst.

Nachdem die Bedingungen der Momentaufnahmen an den ausgesprochen beweglichen Objekten geschildert wurden, können wir uns bezüglich der relativ beweglichen Objekte kurz fassen. Soweit sie sich zu Zeitaufnahmen eignen, gleicht ihre mikrophotographische Behandlung vollkommen derjenigen der unbeweglichen, und eignen sie sich überhaupt nur zu Momentaufnahmen, so gilt auch für sie das bei den beweglichen Objekten Gesagte. Diesen letzteren gegenüber bieten sie allerdings den Vorteil, daß sie sich aus dem Gesichtsfeld überhaupt nicht oder nur sehr langsam fortbewegen. Ihre Bewegungen, Struktur und Formänderungen bleiben auch fast ausschließlich auf die Einstellebene beschränkt. Man kann deshalb zu Momentaufnahmen an diesen Objekten die Vertikalkammern oder im-

provisierte Einrichtungen fast ebenso gut verwenden wie die Aufsatzkammern.

Wir haben bisher die Aufnahmetechnik beweglicher lebender Objekte nur von dem einen Gesichtspunkt aus betrachtet, wie weit man von solchen scharfe Aufnahmen erhalten kann trotz der Beweglichkeit oder der Veränderlichkeit des Objekts. Es handelte sich einfach um Aufnahmen von Objekten, welche die besondere — für den Mikrophotographen nicht gerade günstige — Eigenschaft der Beweglichkeit oder Veränderlichkeit zeigen und deshalb eine besondere mikrophotographische Behandlung, d. h. die Momentaufnahme, erfordern.

Eine wesentlich andere Aufgabe bedeutet in der Mikrophotographie, die Veränderungen am Objekt als solche

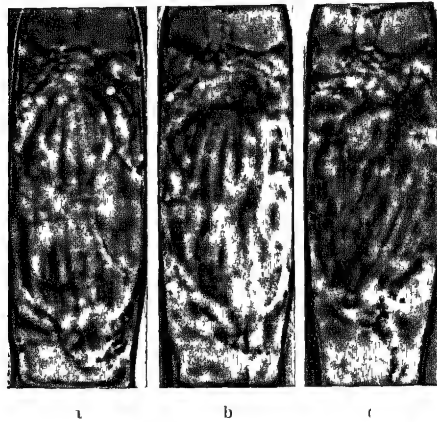


Abb 218 Lebende Zellen aus den Staubfäden von *Tradescantia virginiana*

a Kernteilung 17 Uhr 5 Sekunden, b 10 Sekunden später, c 24 Sekunden später. Vergr. 900fach (Aus K. BĚLAŘ [6], Taf. III, Abb. 13, 14, 15.)

in ihrer zeitlichen Reihenfolge festzuhalten, und zwar entweder in einer Bildreihe von charakteristischen stationären Zuständen oder aber von dem Vorgang selbst in seiner dynamischen Erscheinung.

**163 Reihenphotographie** Die erste Art der Abbildung solcher an den mikroskopischen Objekten wahrnehmbaren Form- und Ortsveränderungen besteht darin, daß man während des Verlaufs des biologischen Vorgangs oder auch jeder anderen Veränderung am Objekt in bestimmten charakteristischen Momenten eine Zeit- oder eine Momentaufnahme erzielt. Stellt man die Bilder in der zeitlichen Reihenfolge der Aufnahmen auf, so gewinnt man aus den Einzelbildern gewisse Aufschlüsse über den ganzen Verlauf des Vorgangs. Am bequemsten und einfachsten erzielt man solche Serienaufnahmen mit den Aufsatzkammern, ist aber der Verlauf der Veränderungen nicht allzu rasch, so erhält man auch mit Vertikalkammern gute Reihenphotogramme. So hat z. B. K. BĚLAŘ [6] seine schonen Bildreihen von den Zellteilungen in lebenden Zellen erhalten (Abb 218). Eine besondere Rolle spielen die Reihenaufnahmen in der experimentellen Zellforschung, namentlich in der Mikirurgie.<sup>1</sup> Um die

<sup>1</sup> Als Mikirurgie (aus *micro* klein und *ergon* das Werk, das Handeln) wird die Methode bezeichnet, welche mit Hilfe des Mikromanipulators und feiner Nadeln, Pipetten oder Elektroden im mikroskopischen Gesichtsfeld das unmittelbare Experi-

experimentell hervorgerufenen Veränderungen objektiv und naturgetreu darstellen zu können, muß das Objekt vor, während und in bestimmten Zeitabständen nach dem Eingriff photographiert werden (Abb 219 u 220). Ähnlicherweise können aufeinanderfolgende Stadien der Formänderungen und des Ortswechsels einer Leukozyte oder einer Wanderzelle in der Reihenphotographie festgehalten werden. Die Beispiele kann man natürlich aus den verschiedenen Gebieten der Naturwissenschaften noch beliebig vermehren. Liegt ein gewisser größerer Zeitabstand zwischen zwei charakteristischen, für die Darstellung wichtigen Stadien, so daß man Zeit hat, die Kassetten zu wechseln und scharf einzustellen, so wird man mit den Aufsatzkamern und ihren Kassetten ohne weiteres zum Ziele kommen. Folgen aber die einzelnen Stadien der Veränderung rasch hintereinander und soll möglichst keines von diesen aus der Reihenaufnahme fehlen, so werden selbst die Aufsatzkamern in ihrer heutigen Form nicht mehr genügen (Vertikalkamern kommen natürlich gar nicht in Betracht), und man ist auf die Mikrokineematographie angewiesen auch dann wenn man mit den Aufnahmen keine eigentliche mikrokineematographischen Ziele verfolgt, sondern nur rasch hintereinander (z. B. in jeder halben Minute) Momentbilder vom Objekt zu erhalten wünscht.

Vor kurzem wenigstens stand die Lage der Dinge so. In letzter Zeit hat jedoch die Firma LEITZ mit der Aufsatzkamera Mifilmca (s. S. 228 und Abb. 123) den Mikrophotographen die Möglichkeit verschafft, auch die rasch aufeinanderfolgenden Momente des abzubildenden Vorgangs in Serien festzuhalten, ohne die bedeutend höheren Kosten und die sonstigen Schwierigkeiten einer mikrokineematographischen Aufnahme (s. S. 352 ff.) in Kauf nehmen zu müssen<sup>1</sup>. Man kann mit der Mifilmca hintereinander 36 Aufnahmen erzielen, und das genügt auch vollkommen bei den meisten biologischen, pathologischen oder physikalisch-



Abb. 219. Mikurgischer Versuch an einem Bazillus (Bac. MAYERI) Dunkelfeldaufnahme.

A: Isolierter Bazillus in einem Tropfenchen mit der Mikromet. B: Derselbe Bazillus nach erfolgter Operation, wo ein Stückchen des neben dem Bazillus liegt, abgeschnitten wurde. Obj. WINKEL-ZEISS, Fluorit-Trockensyst. 3 mm. num. Ap. 0,95 mit Iris. Linienblende mit num. Ap. 0,65 abgebildet. Phok. Präpar. der Weichsch. Kondensor (ZEISS) num. Ap. 0,7. 0,8. Abzug nach traglich vergrößert. Bildvergr. etwa 1250fach. (Aus: F. WANDSCHER [7], Lit. III, Abb. 23-24.)

mentieren am Objekt ermöglicht. So werden Operationen an einzelnen Zellen ausgeführt, elektrische Reizungen ausgeübt, einzelne Zellen oder Bakterien isoliert usw.

<sup>1</sup> Zur Herstellung von Positiven und Diapositiven nach den Filmnegativen hat W. KUMM (7) einen einfachen Apparat angegeben.

chemischen Vorgängen, die für solche Reihenaufnahmen in Betracht kommen. Schon früher, als die Mifilmca in den Handel gebracht wurde, hat A. CERNY (1) seine Aufsatzkammer zu Reihenaufnahmen mit einer Rollfilmkassette ausgerüstet. Obwohl diese Kassetten (ohne Kassettenwechsel) nur 6 oder 12 Aufnahmen hintereinander gestatten und auch der Filmwechsel nicht so rasch und bequem erfolgt wie bei der Mifilmca, bietet die Einrichtung von CERNY mit der Rollfilmkassette den großen Vorteil, daß man die Aufnahmen nachträglich nicht vergrößern muß, wie das bei der Mifilmca der Fall ist. Es wäre wünschenswert, wenn auch die anderen Aufsatzkammern so gebaut würden, daß man je nach der Art der Aufnahmen bald Platten, bald Filme verwenden konnte, und bei den Vorteilen, welche die Rollfilmkassette zu den Reihenaufnahmen bietet, nur dort auf die Mikrokkinematographie angewiesen wäre, wo es sich tatsächlich um mikrokkinematographische Aufgaben, nämlich um die Wiedergabe eines dynamischen Vorgangs, handelt.

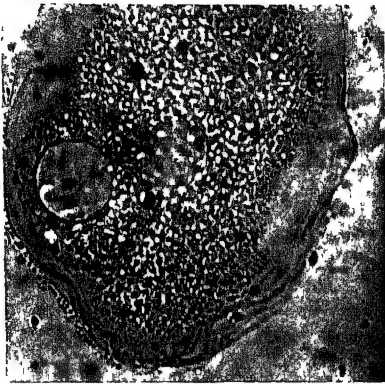
## XV. Die Mikrokkinematographie.

(Vgl. zusammenfassende Darstellungen bei J. COMMANDON [1], W. R. HESS [1], K. HOFER [1], FR. KOHLER [1], H. NAUMANN [2], W. SCHEFFER [4] und F. SCHIMMZY [3].)

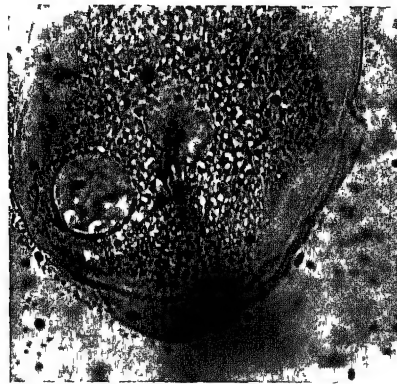
**161. Grundbegriffe.** Die photographische Darstellung eines Bewegungsvorganges erfolgt bekanntlich so, daß man den Vorgang in eine Reihe von Einzelbildern aufteilt und diese rasch hintereinander vorführt. Sieht man innerhalb einer Sekunde 16 solche Bilder oder mehr hintereinander, so vermag das Auge die einzelnen Bilder nicht mehr auseinanderzuhalten, und diese verschmelzen dann zum Gesamtbild, welches den Eindruck erweckt, als ob der Bewegungsvorgang sich mit seinen charakteristischen dynamischen Erscheinungen am Projektionschirm abspiele. Die Kinematographie besteht demnach aus zwei technisch verschiedenen, miteinander jedoch innigst verknüpften Verfahren: aus der Aufnahmetechnik und der Projektionstechnik. Die Aufnahmetechnik ist im Grunde genommen dieselbe wie bei jeder Momentaufnahme auf einem Rollfilm. Nur der Umstand, daß man zu der naturgetreuen Wiedergabe einer Bewegung mindestens 16 Teilbilder in der Sekunde erzielen muß, erfordert besondere Aufnahmeapparate für einen entsprechend längeren Rollfilm mit einem Werk für den raschen Filmwechsel (Filmttransport) und mit einer Einrichtung, welche die Serienbelichtungen in der erforderlichen Geschwindigkeit und synchron mit dem Filmwechsel ermöglicht. Das Ergebnis der Aufnahme ist auch hier eine Bildreihe von statischen Zuständen, die, einzeln betrachtet, ebensowenig den Eindruck des dynamischen Vorgangs erwecken können wie sonstige Reihenaufnahmen (vgl. Abbildungsreihe 220a—e). Der Eindruck des dynamischen Geschehens und die Empfindung des Bewegungssehens wird erst bei der Vorführung der Aufnahmen mit der erforderlichen Geschwindigkeit durch die dafür geeigneten kinematographischen Vorführapparate hervorgerufen. Während also auf den meisten Gebieten der Photographie das Ergebnis der geleisteten Arbeit fast ausschließlich von rein photographischen Faktoren, d. h. von der Aufnahmetechnik, abhängt, ist das Ergebnis der kinematographischen (und mikrokkinematographischen) Aufnahme erst bei der Vorführung ersichtlich und wird von der letzteren entscheidend beeinflusst. Nur in der Stereophotographie begegnet man einer ähnlichen Erscheinung, wo der stereoskopische Effekt erst bei der Betrachtung der Bilder, häufig mit besonderen dafür bestimmten optischen Geräten, entsteht.

Diese allgemeinen Betrachtungen über die Entstehung des kinematographischen Bildes lehren, daß die Darstellung von Bewegungsvorgängen grundsätzlich von dem Verhältnis abhängt, in welchem die Geschwindigkeit der Reihen-

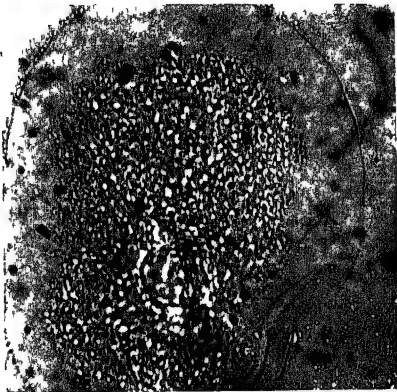




a



b



c



d

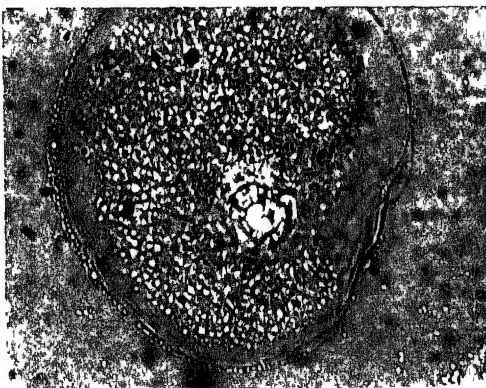


Abb 220 a—e Mikrokymatographische Aufnahmen von einer Kristallisation an einer *Amoeba sphaerocaul*

Die Bilder a, b, c, d, e sind einzelne Ausschnitte aus der Bildfolge, welche typische Zustände der Zelle vor, während und nach der Operation darstellen. Die Ausschnitte aus dem Normalfilmnegativ wurden mit einem geeigneten Apparat auf Entwicklungspapier in der Größe 9 · 12 kopiert. Bei der drucktechnischen Wiedergabe sind die Bilder 4 · 5 verkleinert worden.

Hom. Imm. ZEISS Obj. 60fach, Peripl. Ok. 12fach, Kondensor 1,4 ohne Frontlinse, Spiegel-Kohlenbogenlampe (HABER-Gesetz), Grünfilter, Aufnahmezeit 20 pro 8 Sekunde.

(Aus J. PILLER und A. NAYHE [2, Taf. 10 Abb. 1—5].)

belichtungen (Aufnahmefrequenz) zur Geschwindigkeit der Vorführung (Vorführungsfrequenz) steht. Bei einem bestimmten Verhältnis wird die Darstellung des Vorganges richtig naturgetreu erscheinen. Das ist der Fall bei einer Aufnahmefrequenz von 16 bis 20 pro Sekunde und einer ebenso hohen Vor-



**fuhrungsfrequenz** Ist die Aufnahme­frequenz etwas höher als die Vorfuhrungs­frequenz (bis 40 pro Sekunde), so erscheinen die Bewegungen noch natürlicher weil sie einen gleichmäßigeren Verlauf zeigen, ist sie aber etwas niedriger (z. B. 12 bis 15 pro Sekunde), so werden die Bewegungen sprunghaft und erwecken einen unruhigen und unnatürlichen Eindruck. Die normale Vorfuhrungsfrequenz der meisten größeren Vorfuhrapparate ist durchschnittlich 20 pro Sekunde, bei kleineren Apparaten 16. Bei einer geringeren Vorfuhrungsfrequenz als 16 oder 15 Bilder pro Sekunde zerfällt das Gesamtbild in die Einzelaufnahmen, und man erhält keine kinematische Wirkung mehr. Anders verhält es sich, wenn die Vorfuhrungsfrequenz die normale bleibt, die Aufnahme­frequenz jedoch von der normalen wesentlich abweicht. Ist die Aufnahme­frequenz wesentlich geringer als die Vorfuhrungsfrequenz, so erscheint die Bewegung beschleunigt, im entgegengesetzten Fall aber verlangsamt. Wenn z. B. ein Vorgang, welcher normalerweise in einer Stunde abläuft, mit 1200 Einzelbildern aufgenommen (eine Aufnahme in jeder dritten Sekunde) und bei normaler Vorfuhrungsfrequenz in einer Minute vorgeführt wird, so erscheint der Ablauf des Vorganges 60fach beschleunigt. Wird aber eine rasche periodische Bewegung, wie z. B. der Flimmerschlag, 6 Sekunden lang mit einer Aufnahme­frequenz von 200 pro Sekunde (statt 20) aufgenommen und bei normaler Frequenz vorgeführt, so wird die Zeit von 6 Sekunden auf 1 Minute ausgedehnt. Dementsprechend erscheint dann auch die Bewegung im Vergleich zum natürlichen Ablauf 10fach verlangsamt. Im ersten Fall hat man eine Zeitraffer-, im zweiten eine Zeitlupen- oder Zeitdehnenaufnahme vor sich. Mit Hilfe des Zeitraffers lassen sich langsam und gleichmäßig verlaufende Vorgänge, welche bei kürzerer Betrachtung keinerlei kinetische Erscheinungen zeigen, wie z. B. die Wachstumserscheinungen gezuchteter Zellen oder Kristalle<sup>1</sup>, als Bewegungsvorgänge darstellen, umgekehrt mit der Zeitlupe sehr rasche Bewegungen in ihre einzelnen Stufen zerlegen und dadurch genauer verfolgen. Man kann schließlich mit dem Zeitraffer künstliche Bewegungsbilder von sonst unbeweglichen Objekten erzeugen, indem man die Zeichnungen einzelner Bewegungsmomente kinematographiert und die Bildreihe dann bei normaler Frequenz vorführt (Trickaufnahmen). Als einfachstes Beispiel solcher auch zu wissenschaftlichen Vorführungen geeigneten Trickaufnahmen seien hier die im projizierten Bilde zustande kommenden statistischen Kurven und Treppen erwähnt.

Man kann also je nach dem Verhältnis der Frequenzen 1 die normalen, 2 die Zeitraffer- und 3 die Zeitlupenaufnahmen unterscheiden.

Alle drei Arten von kinematographischen Aufnahmen werden auch in der Mikrokineematographie durchgeführt, und es soll im folgenden näher untersucht werden, welche besonderen Einrichtungen unter welchen besonderen Bedingungen dazu verwendet werden. Wir müssen dabei im einzelnen 1 den Aufnahmeapparat und die dazu geeignete mikroskopisch-optische Ausrüstung, 2 das Filmmaterial und seine Behandlung, 3 die Vorkehrungen kennenlernen, welche zur Erlangung einwandfreier Mikrofilme notwendig sind.

**165. Der Aufnahmeapparat** Der wesentliche Unterschied zwischen einer Mikrophotographischen und einer mikrokineematographischen Einrichtung besteht eigentlich nur darin, daß bei der letzteren das Mikroskop statt der photographischen mit einer kinematographischen Kamera verbunden wird. Die Aufstellung des Mikroskops und der Beleuchtungseinrichtung bleibt grundsätzlich dieselbe, wie das schon für die Mikrophotographie angegeben wurde; ebenso die Bedingungen einer optimalen Beleuchtung und Abbildung. Was vielleicht in

<sup>1</sup> Vgl. H. NAUMANN (I. 3)

diesem Zusammenhange noch unterstücken werden muß, ist die Feststellung, daß die Mikrokinematographie noch wesentlich höhere Forderungen an die Erschütterungsfreiheit der Vorkehrung, an die Zentrierung der Linsenfolgen und an die Güte der Beleuchtung stellt als die Mikrophotographie. Eine weitgehende Sicherung gegen Erschütterungen ist erforderlich wegen der mechanischen Arbeit, welche knapp vor den Belichtungen beim Filmtransport geleistet wird. Wird durch diese Arbeit die Aufnahmekamera in Schwingungen gesetzt und pflanzen sich diese dann auch auf das Mikroskop weiter,

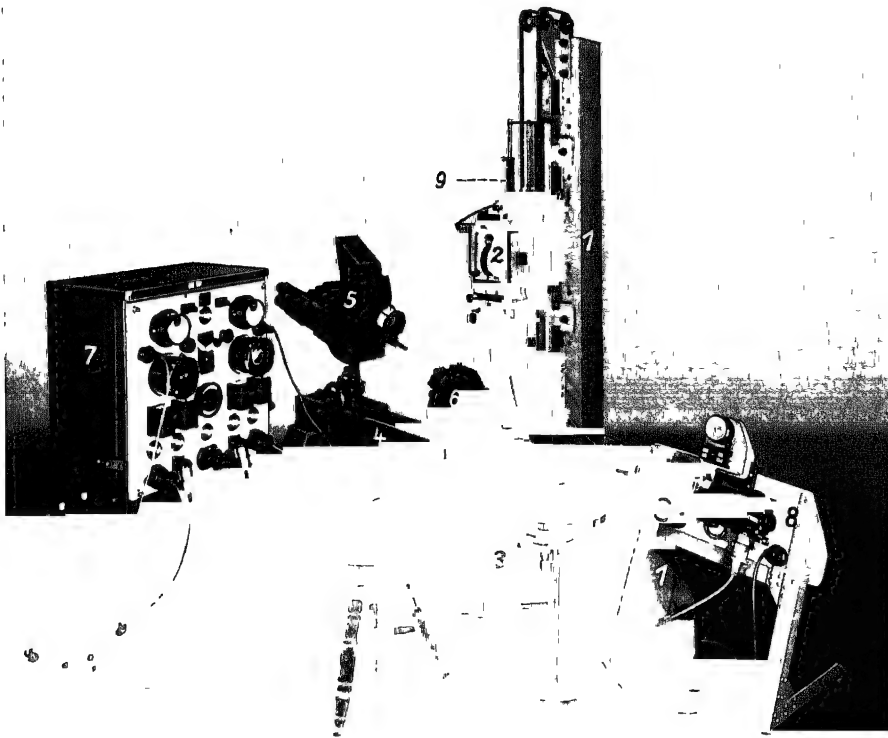


Abb. 221. Großer mikrokinematographischer Apparat der Askania-Werke nach K. HÖFER.  
1 = Gerüst, 2 = Aufnahmekamera, 3 = Mikroskop, 4 = Projektionsbank, 5 = Bogenlampe, 6 = Zwischenblende, 7 = Beleuchtung, 8 = Filmtransport, 9 = Filmhalter.  
(Aus K. HÖFER [2])

so wird selbstverständlich jegliche scharfe Abbildung vereitelt. Eine besonders genaue Zentrierung ist schon deshalb unbedingt notwendig, weil die Fläche, auf welcher das Bild in der Kamera entsteht, viel enger bemessen ist als sonst in der Mikrophotographie. Ist das Mikroskop zur Kamera nicht genau ausgerichtet, so verliert man wesentliche Teile des mikroskopischen Bildes. Was schließlich die Beleuchtung anbelangt, so müssen hier zwei besondere Umstände berücksichtigt werden, und zwar sind diese die von der Aufnahme Frequenz bedingte kurze Belichtungszeit und die starke Bildvergrößerung bei der Vorführung durch die Projektion. Mit diesen beiden Faktoren werden wir uns noch wiederholt und eingehend beschäftigen müssen, weil die Besonderheiten der Mikrokinematographie zum großen Teil von ihnen bedingt sind.

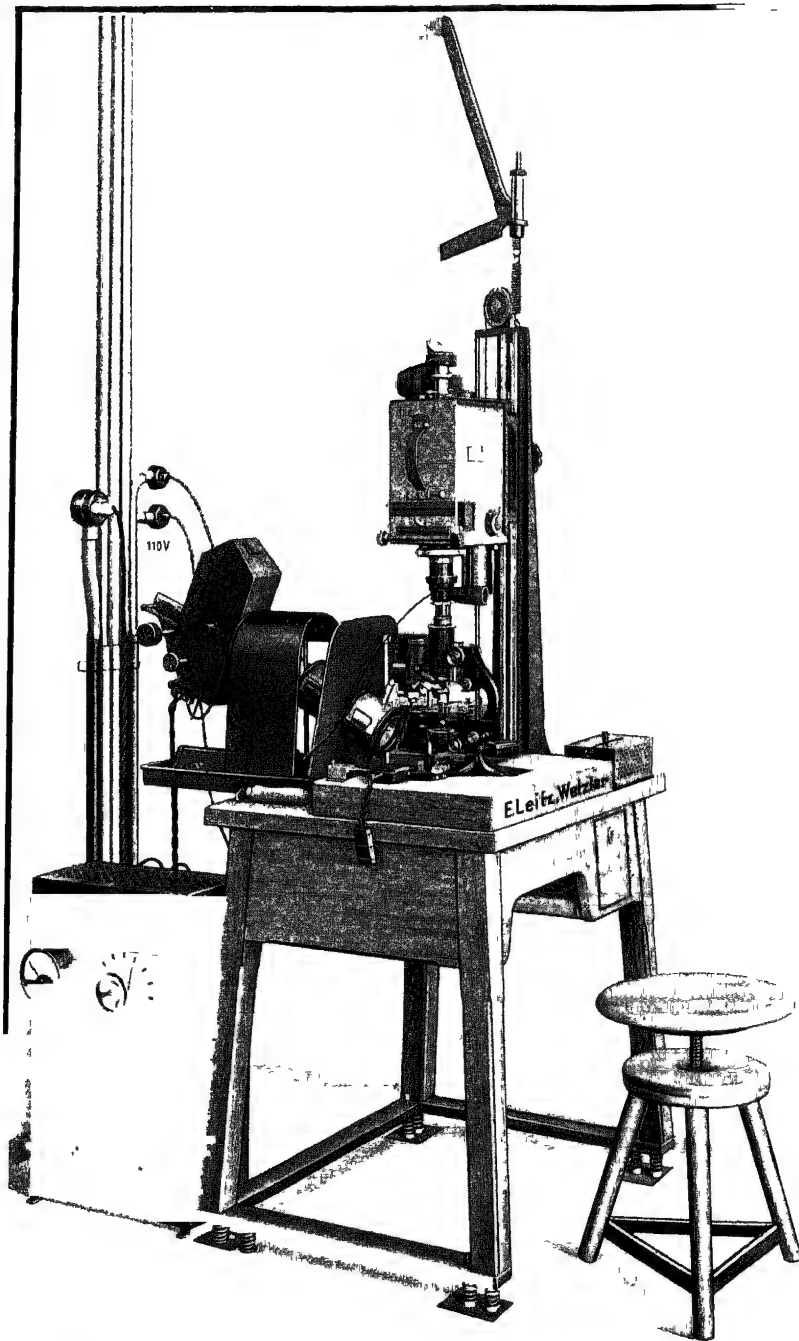


Abb 222 Mikrokineeinrichtung (geschlossen) der Firma I. Leitz

Während vor ein oder zwei Jahrzehnten einwandfrei funktionierende mikrokineematographische Einrichtungen große Seltenheiten waren, und die Aufnahmen

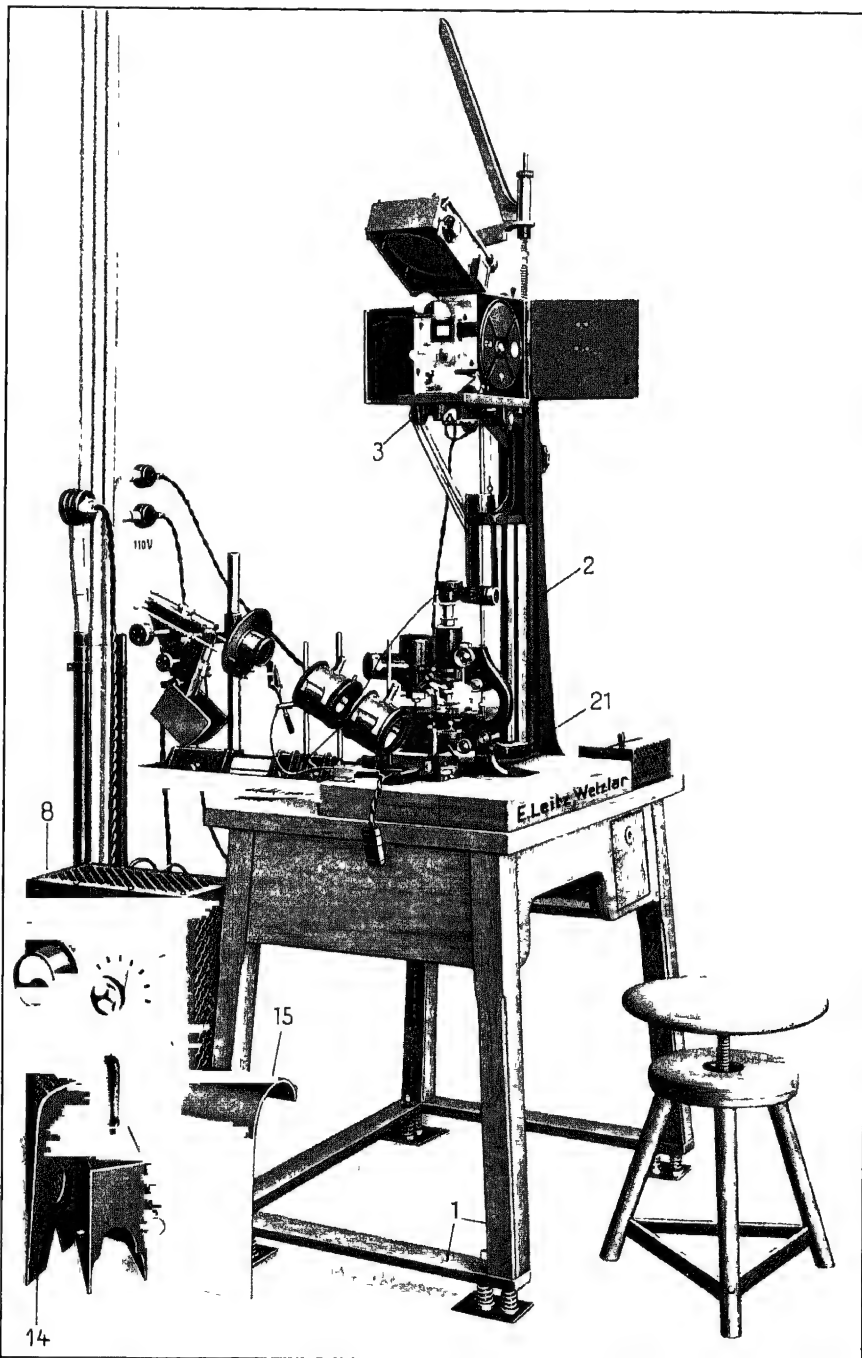


Abb. 223 Mikrophotographie (gezeichnet von der Firma J. J. J. J.)

1 = Holztisch und Unterlagerungen mit Federn, 2 = Stativstütze und hochziehbare Aufhängenvorrichtung, 3 = hochklappbarer Träger für den Aufnahmeapparat, 8 = Regulierwiderstand mit Amperemeter für die Bogenklempe, 14 = Blendscheibe vor dem Mikroskop, 15 = Lichtschirm vor dem Spiegelstativ, 21 = Druckschalter

von einigen Speziallaboratorien abgesehen, mit improvisierten Einrichtungen erzielt werden mußten<sup>1</sup>, steht uns heute, dem großen Interesse entsprechend, welchem die Mikrokineematographie auf allen Gebieten der mikroskopischen Forschung begegnet, eine Anzahl von verschiedenen Formen der eigens dafür bestimmten Aufnahmeapparate zur Verfügung

Unter diesen können wir nach der Leistungsfähigkeit der Aufnahmekamera, der Art der Aufstellung und den Größenmaßen des Filmbandes 1 große eingebaute, 2 große bewegliche (transportable) und 3 kleine mikrokineematographische Einrichtungen unterscheiden. Die kleinen Apparate, welche selbstverständlich alle leicht transportabel sind, werden entweder für Normalfilm oder für Schmalfilm (Schmalfilmapparate) eingerichtet. Die Einzelheiten in ihrem Aufbau und ihrer Ausrüstung sind am besten aus den hier beispielshalber angeführten Abbildungen ersichtlich. Die grundsätzlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Haupttypen fassen wir in dem Folgenden zusammen.

Großen eingebauten Apparaten (Abb 221 u 224) begegnet man hauptsächlich in Laboratorien, welche eigens zur Mikrokineematographie eingerichtet sind, und wo die größten Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Einrichtung bei den verschiedensten Aufgaben gestellt werden. Hier wird sowohl die Aufnahmekamera wie auch das Gestell für das Mikroskop an einer Wand oder am Fußboden des Raumes einschütterungsfrei befestigt. Von der Art der Befestigung und von der Aufstellung im Raume erhält man aus der Abb 224 eine richtige Vorstellung. An manchen Orten ist nur die Aufnahmekamera fest eingebaut, während das Gestell mit dem Mikroskop von verschiedenen Seiten her an diese herangeschoben werden kann.

Die großen beweglichen Einrichtungen sind so aufgebaut, daß die Hauptbestandteile der Vorkehrung nach Belieben von einem Raum in einen anderen übertragen und aufgestellt werden können. Einmal aufgestellt, sind sie dank besonderer Vorkehrungen (s Abb 222 u 223) ebenso einschütterungsfrei wie manche eingebauten Apparate. Einige Beispiele für die Zusammenstellung solcher Apparate, welche derzeit in der Mikrokineematographie am meisten verbreitet sind, bieten die Abb 222 u 223.

Die kleinen Apparate zeichnen sich den größeren gegenüber vor allem durch das kleinere Fassungsvermögen ihrer Aufnahmekammern aus. Diese kleinen Kinokammern sind vielfach, was Aufbau und Präzisionsmechanik anbelangt, den großen Aufnahmeapparaten vollkommen ebenbürtig, nur ist ihre Leistungsfähigkeit dadurch herabgesetzt, daß sie wesentlich kürzere Filmrollen enthalten als die letztgenannten (s Abb 231). Mit dieser Frage werden wir uns im Zusammenhange mit der Beschaffenheit des Filmmaterials noch näher befassen. Ebenso wird über den Aufbau dieser kleinen transportablen Einrichtungen noch Weiteres zu sagen sein bei der Beschreibung der sog. Schmalfilmapparate (Abb 229).

Gleichgültig, welchem Typ er angehört, besteht ein vollkommen ausgerüsteter mikrokineematographischer Apparat aus folgenden vier Hauptbestandteilen:

<sup>1</sup> Die wissenschaftlichen Grundlagen der Kinematographie stammen von E. J. MAREY (I) (1892—1894), die der Mikrokineematographie von J. COMMANDON (1903 bis 1905). Schon im Jahre 1888 hatte ST. CAPRANZI (I) versucht, Serienmomentaufnahmen von mikroskopischen Objekten zu erzielen. Es seien hier auch die Versuche von K. REICHER (I) und V. V. WIDAKOWITSCH erwähnt, die statt Mikrophotogramme Zelloidinschnittserien abbilden ließen und damit eine optische Rekonstruktion des zerlegten Organs (Rückenmark und Gehirn REICHER) oder eines Embryos (WIDAKOWITSCH) erzielt haben. Die eigentlichen Bahnbrecher der Mikrokineematographie waren in den Jahren 1905—1913 neben J. COMMANDON (I) H. SIDENROFF, L. CHARENTON (I) und F. VLES (I), L. BUIL (I), J. AUE (I), CH. A. FRANÇOIS-FRANK (I), R. NIUHAUSS (2), J. RIES (I), W. SCHEFFER (I) u. a. m. (Vgl. zur Geschichte der Kinematographie G. M. COISSAC (I) und W. DOST (I)).

- 1 der Aufnahmekamera,
  - 2 dem Gestell für die mikroskopisch-optische Ausrüstung (Gestell für das Mikroskop und optische Bank für die Beleuchtung),
  - 3 der Kraftquelle zum Betreiben der Filmkamera,
  - 4 der Schalttafel mit einem Voltmeter und einem Ampèremeter sowie den nötigen Vorschaltwiderständen
- Dazu kommen noch bei Zeitrafferaufnahmen
- 5 der Zeitraffer und
  - 6 Vorrichtungen für die Zeitmarkierung

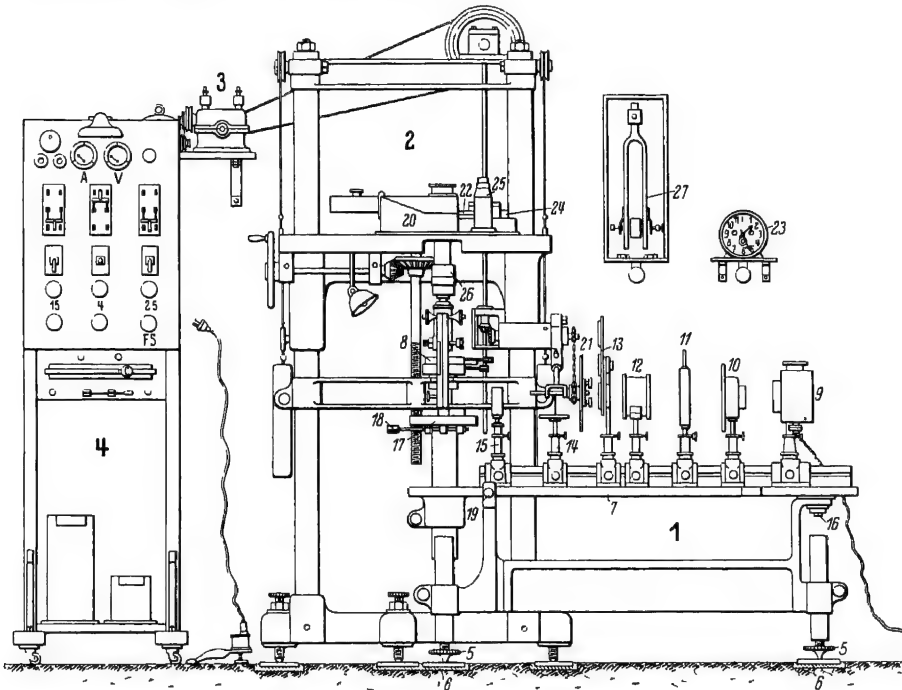


Abb. 224 Schematische Darstellung des mikrokinematographischen Apparates von H. ROSENBERGER  
 1 = optische Bank, 2 = Kameragestell, 3 = Motor, 4 = Schalttafel, 5, 6 = Stülvorrichtung für die optische Bank, 7 = Tisch für die Beleuchtung, 8 = Mikroskop, 9 = Lichtquelle, 10, 11, 12, 13, 14, 15 = Teile der Beleuchtungseinrichtung, 16 = Stellschraube für die Beleuchtungseinrichtung, 17 = Mikroskop, 18, 19 = Schraube zum Ansehen des Mikroskops, 20 = Aufnahmekamera, 21 = Zeitraffer, 22 = elektrische Unterbrecher bei niedriger Frequenz, 23 = Uhr als Zeitmarkier, 24, 25 = Lichtschalter, 26 = lichtdichte Verbindung, 27 = Stimmgabel Zeitmarkier (Aus H. ROSENBERGER [1])

Am klarsten ist der Aufbau einer solchen Einrichtung aus der Abb. 224 zu ersehen, welche die Bestandteile des großen mikrokinematographischen Apparates von H. ROSENBERGER zeigt (ROCKEFELLER-Institut, Abteilung Dr. A. CARREL, New York). Die Einrichtung soll, wie H. ROSENBERGER (1, 2) angibt, folgenden Forderungen entsprechen: 1. Sie soll vollkommen fest und erschütterungsfrei sein. 2. Sie soll dabei bequem zu transportieren sein. 3. Bei einer großen Leistungsfähigkeit soll sie doch einfach und übersichtlich sein. 4. Sie soll bei den verschiedensten Laboratoriumsarbeiten verwendbar sein. 5. Man soll mit ihr bei den verschiedensten Aufnahmefrequenzen von 1 Aufnahme in der Stunde bis zu 32 Aufnahmen in der Sekunde arbeiten können. 6. Sie soll sich zu den verschiedenen Formen der üblichen Mikroskopstative, den verschiedenen Beleuchtungsarten (auffallendem Licht, polarisiertem Licht, Dunkelfeld) und den heute

oft angewandten Methoden der experimentellen Zell- und Gewebeforschung eignen 7 Die Beobachtung des mikroskopischen Sehfeldes soll ständig kontrollierbar sein

Diese Forderungen gelten auch allgemein für alle mikrok cinematographischen Einrichtungen, die man ständig — und nicht nur von Fall zu Fall — in den Laboratorien der mikroskopischen Forschung zu verwenden wünscht. Handelt es sich nur um einzelne Fälle, wo das Objekt, die mikroskopische Vergrößerung und die Aufnahmefrequenz keine höheren Forderungen an die Leistungsfähigkeit der Kamera stellt, wie das bei Aufnahmen an Planktonorganismen, Protisten usw. mit ganz schwachen Vergrößerungen öfters vorliegt, so braucht man natürlich nicht alle diese Forderungen zu berücksichtigen und wird auch mit ganz einfachen Apparaten oder sogar mit Improvisationen (vgl. P. METZNER [1, S. 491], A. LEMMEL, H. LOWENSTADT und M. SCHÖSSLER [1], O. TROTHANDL [1]) gut

zum Ziele kommen. Die Anschaffung der großen und kostspieligen mikrok cinematographischen Einrichtungen kommt jedoch hauptsächlich dort in Frage, wo zytobiologische, pathologische oder bakteriologische Vorgänge am lebenden Objekt vielfach bei den stärksten Vergrößerungen und unter verschiedenen experimentellen Bedingungen verfilmt werden sollen. Dazu eignen sich dann tatsächlich nur solche Einrichtungen, welche den oben aufgestellten Forderungen entsprechen (vgl. diesbezüglich neben den zusammenfassenden Darstellungen St. BAYNE-JONES und CLIFTON-TUTTLE [1], H. FRIES und W. EWALD [1], M. RIKLI [1]).

**166. Die Aufnahmekamera.** Die Einzelheiten über den Bau der Aufnahmekameras sind am besten aus der Fachliteratur der Kinematographie (vgl. E. DEGNER [1], H. LEHMANN [2], P. LIESEGANG [1], K. W. WOLF-CZAPEK [1]) oder aus den Druckschriften der Herstellerfirmen (Askania- Werke, Berlin-Friedenau, ZEISS-Ikon, Dresden, EASTMAN-KODAK, Rochester, N. J., DEBRIE, Paris, PATHE, Paris, usw.) zu ersehen. Die Abb. 229 u. 232 zeigen Aufnahmekameras von ein-

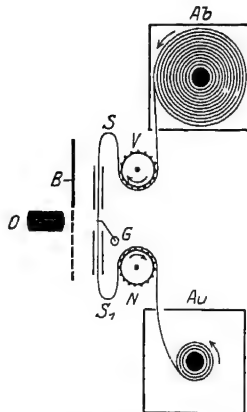


Abb. 225. Schema eines Aufnahmegeräts

Ab = Abwickelkassette, Au = Aufwickelkassette, V, N = Zahntrummeln, S, S<sub>1</sub> = Schleife, B = Sektorblende, O = Öffnung (Aus K. HÖFER [1, Abb. 127, S. 456])

facherem Bau, die Abb. 222 u. 233 die allen Anforderungen der modernen Filmetechnik angepaßten sog. Berufsaufnahmegeräte. Die Grundzüge der Konstruktion sind aus der Abb. 225 ersichtlich. Vor der Lichtöffnung der Kamera, dem sog. Bildfenster, liegt der Filmstreifen in der Greifvorrichtung eingepaßt (Abb. 226). Der Filmstreifen oder das Filmband verläuft zwischen den zwei Filmbehältern so, daß er zwischen der Abwickelkassette und der Aufwickelkassette eine Schlinge bildet, die vom Greifer gehalten wird. Metallzähne greifen in die Lochung (Perforation) des Filmbandes ein und schieben es dann während der Tätigkeit des Greifmechanismus um eine Bildfläche in die Richtung der Aufwickelkassette. Durch das Zusammenspiel des Greifmechanismus mit dem Abrollen und Aufrollen des Filmbandes in den Kassetten erfolgt der mit den Belichtungen gleichzeitige und auf bestimmte Frequenzzeiten geregelte Transport des Films. Die Rolle des unbelichteten Films wird in der Dunkelkammer auf den feststehenden Metallkern der Abwickelkassette, im allgemeinen Bobbin genannt, aufgewickelt oder aufgewickelt. Das freie Ende der Filmrolle wird nun durch das Kassettenmaul nach außen geleitet, in die Bezeichnung des Greifers (Vorwickeltrummel) eingepaßt, dann in Form einer Schleife durch die federnde Haltevorrichtung (Filmtur mit

Federdruck) vor das Bildfenster geführt, auf die Nachwicklertrommel des Greifers aufgelegt und schließlich durch das Maul der Aufwickelkassette an dem Bobbi befestigt. Dieser letztere ist drehbar und steht mit dem Kurbelmechanismus unmittelbar in Verbindung. Dreht man also den Bobbi der Aufwickelkassette, so werden auch die Trommeln des Greifers in Bewegung gesetzt, der Filmstreifen wird vom Bobbi der Abwickelkassette abgerollt, ruckweise vor das Bildfenster geschoben und dann auf den Bobbi der Aufwickelkassette aufgespult. Im Moment der Belichtung muß natürlich der Film stillstehen. Das wird dadurch erreicht, daß die Zähne des Greifers nur in bestimmten Momenten, d. h. während des Filmtransports, aus einem Schlitz der Trommel hervortreten und in die Perforation eingreifen, im Moment der Belichtung aber zurückgezogen werden. Das Hervortreten und Zurückziehen der Zähne hängt mit bestimmten Drehungsmomenten der Trommel zusammen. Der Filmtransport erfolgt demzufolge nur ruckweise, und zwischen zwei Drehmomenten der Trommel kann also die Belichtung am stillstehenden Filmband erfolgen. Es muß jedoch auch für eine Vorrichtung gesorgt werden, die es verhindert, daß der Film auch während des Transports belichtet wird. Diese Aufgabe fällt der Sektorenblende oder Flügelblende zu. Diese stellt eine kreisrunde Metallscheibe dar mit einem Sektorenausschnitt. Steht der Ausschnitt vor dem Bildfenster, so kann Licht auf den Film fallen, sonst aber nicht. Von der Größe des Ausschnittes

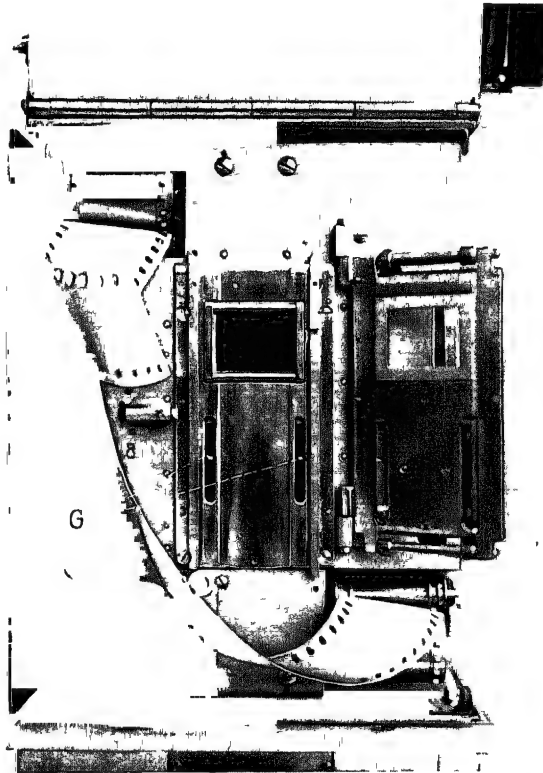


Abb. 22b. Filmkanal, geöffnet, mit Bildfenster und Greifer (G)  
(Aus K. HÖRER [7, Abb. 129 S. 457])

— die in den Winkelgraden des Sektors angegeben wird — und der Geschwindigkeit, mit der die Blende gedreht wird, hängt sowohl die Belichtungszeit wie die Frequenz der Aufnahmen in der Sekunde ab. Die Unterbringung der Blende kann bei verschiedenen Apparaten verschieden sein. Heute findet man am häufigsten eine Innenblende zwischen Bildfenster und Filmstreifen, es gibt jedoch Einrichtungen, wo die rotierende Blende auf der optischen Bank zwischen Mikroskop und Lichtquelle aufgestellt wird (COMMANDON, H. ROSENBERGER), was namentlich für biologische Objekte gewisse Vorteile hat (S. S. 373).

Die Drehung der Blende und der Filmtransport sind zwangsläufig miteinander verkoppelt und werden von einem und demselben Mechanismus betrieben, nämlich von einer Kurbel, welche — bei einem größeren Kurbelkasten — mit zwei Übersetzungsgetrieben, der sog. Einseiwelle und der Achterwelle, ausgerüstet ist.



Bei der Einseiwelle erfolgt eine einzige Belichtung (Öffnung der Blende) bei einer ganzen Umdrehung der Kurbel, bei der Achterwelle aber achtmal. Mit einer besonderen Einrichtung (Tachymeter) ist dann die Geschwindigkeit der Kurbeldrehung regulierbar, und so erhält man je nach der Größe des Blendenausschnitts verschieden lange und verschieden rasch aufeinanderfolgende Belichtungen.

Die Kurbel kann sowohl mit der Hand wie durch einen Elektromotor betrieben werden. Bei den kleinen Apparaten pflegt man häufig den Kurbelkasten mit der Hand zu drehen, was stets eine größere Übung erfordert und nur zu kurzen Aufnahmen (bis zu 1 Minute) ratsam ist. Bei einem ungleichmäßigen Tempo in der Drehung — wie das bei ungeübten Kinematographen oder bei längeren Aufnahmen vorzukommen pflegt — erhält man eine ungleichmäßige Belichtung der Einzelbilder, was bei der Vorführung stark störend bemerkbar sein wird. Es ist daher vorteilhafter, die Achterwelle mit einem Rad auszurüsten und sie durch einen kleinen Motor (eine kleine Dynamomaschine mit  $\frac{1}{12}$  PS) zu drehen. Bei zweimaliger Umdrehung in der Sekunde erhält man schon die normale Aufnahmefrequenz. Die großen modernen Aufnahmeapparate (z. B. der Apparat nach HOFER von den Askania-Werken) sind sogar mit mehreren Antriebswellen und mit einer Vorrichtung ausgerüstet, die es ermöglicht, daß man auch zwischen 1 und 8 Bildwechsel pro Umdrehung verschiedene Zwischenstufen (z. B. einen Zweier- oder einen Viereingang) einschaltet. Unter den kleineren Apparaten ist z. B. das Universal-Kinamo (ZEISS-Ikon) so eingerichtet. Dadurch lassen sich bei entsprechender Regelung der Motorgeschwindigkeit auch andere Frequenzzahlen erzielen als die normalen, was gerade bei mikrokcinematographischen Aufnahmen, bei schwierigen Beleuchtungsverhältnissen (s. S. 372) des öfteren vorteilhaft ist.

Die Einseiwelle wird bei Trickaufnahmen und bei Zeitrafferaufnahmen benutzt. Im ersteren Fall pflegt man sie mit einer Kurbel aus freier Hand zu drehen, für Zeitrafferaufnahmen eignet sich jedoch auch hier besser der Antrieb mit einem Elektromotor. Man kann auch bei Zeitrafferaufnahmen mit der Hand kurbeln, wenn die Aufnahmen nur eine kurze Zeit (1—2 Stunden) dauern und keine höheren Aufnahmefrequenzen als eine Aufnahme in jeder halben Minute erfordern.

Bei verschiedenen kleinen Apparaten findet man statt des Kurbelmechanismus ein Federwerk (ZEISS-Ikon) oder ein Uhrwerk (PATHÉ), das den Filmtansport besorgt und die Aufnahmefrequenz regelt. Wird das gespannte Federwerk gelöst (durch Drücken auf einen Knopf) oder das Uhrwerk in Bewegung gesetzt, so rollen 6 bis 7 oder bis 8,5 m (PATHÉ) Film vor dem Bildfenster vorbei. Dann muß das Federwerk von neuem gespannt bzw. das Uhrwerk aufgezogen werden.

Über das Beobachtungsfenster mit und ohne Fernrohrbeobachtung s. S. 374.

**167. Das Filmmaterial.** Drei Eigenschaften des Filmmaterials haben für die Mikrok cinematographie in erster Linie Bedeutung, und zwar sind diese 1. das Filmformat, 2. die Filmlänge und 3. die Korngröße der lichtempfindlichen Schicht.

Das Filmformat ist von den Ausmaßen der Bildfläche bestimmt, welche der Reihe nach im Bildfenster belichtet wird. Die Größe dieser langlich viereckigen Fläche setzt sich aus den Werten der Bildhöhe und der Bildbreite zusammen (Abb. 227). Neben den Bildflächen oder Bildfeldern der Einzelaufnahmen liegt beiderseits ein Saum (Randleiste) für die Lochreihen des Films (Perforation). Zwischen den einzelnen Bildfeldern befindet sich der schmale Trennungstrich oder Bildstrich. Ist nun das Filmformat so bemessen, daß die ganze Breite des Films mit dem Lochungssaum rund 35 mm beträgt, so spricht man von einem Normalfilm, weil die meisten großen Aufnahmeapparate (Berufsapparate)

für ein solches Format eingerichtet sind<sup>1</sup>. Das Bildfeld stellt am Normalfilm eine Fläche von  $24 \times 18$  qmm dar (Abb. 227)

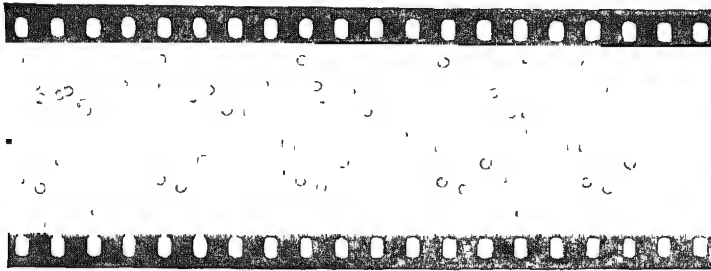


Abb. 227 Stück eines Filmstreifens (Positivfilm, Dunkeleldaufnahme. Das Trypanosom bohrt ein Blutkörperchen an) (Aus Druckschrift des ZEISS-Ikon A.-G. Universal Kinamo, W 220)

Die sog. Schmalfilme (Abb. 228) sind, wie schon der Name zeigt, in der Hauptsache schmäler als die Normalfilme. Dabei sei aber auch gleich bemerkt, daß dementsprechend auch die Bildfelder kleiner sind, und zwar sowohl in der Breite wie auch in der Höhe. Die Breite der Schmalfilme ist bei den verschiedenen Handelsorten verschieden. Am meisten bekannt sind zwei Formate: der 16 mm breite und der 9,5 mm breite Schmalfilm. Der 16 mm breite Schmalfilm wird von den meisten großen Filmherstellern (EASTMAN-KODAK, Agfa, PERUTZ, GEVAERT usw.) geliefert und ist ebenso mit perforierten Randleisten versehen wie der Normalfilm. Das 9,5-mm-Format wird dagegen von PATHÉ hergestellt und zeigt die Eigenheit, daß die Lochung in der Mitte zwischen zwei Einzelbildern angebracht ist, um die Filmfläche besser ausnutzbar zu gestalten (Abb. 228). Tatsächlich ist dadurch die nicht ausgenutzte Fläche dieses Schmalfilms nur 10% der ganzen, während sie beim Normalfilm und dem 16-mm-Film etwa 35% darstellt. Das Bildfeld des 16-mm-Formats ist  $7,5 \times 10,5$  qmm, beim 9,5-mm-Film aber  $6,5 \times 8,5$  qmm.

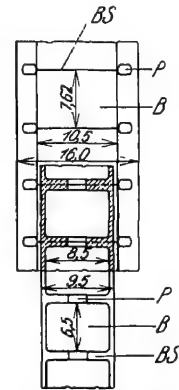


Abb. 228 Stück eines 16-mm-Schmalfilms im unteren Teil mit einem Stück 9,5-mm-Film überdeckt

B = Bild, BS = Bildstreifen, P = Perforation (Aus F. SCHLIMME, MINZKY [3], Abb. 2, S. 344)

Die Größe des Bildfeldes wirkt logischerweise auf die Länge des Filmbandes ein, die man bei einer bestimmten Aufnahmezeit in einer bestimmten Zeit erhalten wird. Es ist deshalb für den Mikrokineematographen wichtig, im voraus schon zu wissen, wieviel Filmmaterial er zu der beabsichtigten Aufnahme braucht. Wie aus den verschiedenen Größen der Bildfelder ersichtlich ist, wird er

Tabelle 27 Verhältnis der Laufzeit und der Film Länge zum Filmformat (Zusammengestellt nach Angaben von F. SCHEMINZKY [3])

Format	Bildzahl in	Laufzeit bei 1 m	Film Länge bei 1 Minute	Filmbreite	Bildfeld	
	1 m	Sekunden	m	mm	qmm	
Normalfilm	52	3	18	35	24	18
16 mm Schmalfilm	133	8	8	16	10,5	7,6
9,5 mm Schmalfilm	133	8	8	9,5	8,5	6,5

<sup>1</sup> Die Tonfilme haben ein anderes, und zwar wegen des Tonstreifens ein wesentlich breiteres Format.

bei dem Normalformat mehr Film verbrauchen, d h in derselben Zeit weniger Bilder erzielen (bei derselben Aufnahme Frequenz) als bei den Schmalfilmen (s Tabelle 27)

Dem Umstand, daß beim Normalfilm mit einem großen Verbrauch an Filmmaterial zu rechnen ist als bei den Schmalfilmen, wird schon bei der handelsüblichen Packung der Filme Rechnung getragen. Den Normalfilm erhält man in Rollen von 60 oder 120 m Länge, den 16-mm-Schmalfilm in solchen von 10 oder 30 m und den PATHÉ-Schmalfilm (9,5 mm) in Packungen von 3 Rollen zu je 8,5 m.

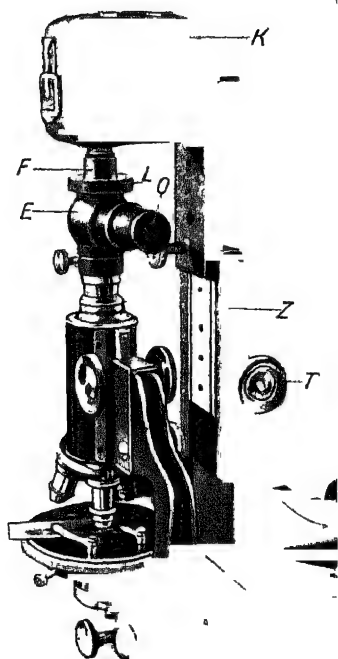


Abb 229 Kinokamera, Universalstativ und Einblichokular nach F SCHEMINZKY

K = Kamera, F = Ersatzlinse, L = Lichtschutzkappe, E = Einblichrohr mit Okular (O), T = Tisch, Z = Zeiger des Schlittens (Aus F SCHEMINZKY u S KANN [1])

GEYER, Berlin, das Normalmodell der Firma BELL & HOWELL Co, Chicago, die Bolex-Kamera der Firma BOL, Genf, oder das Universal Kinamo für Schmalfilm der ZEISS-Ikon-A-G, Dresden, verwenden kann. Eine besonders geeignete Aufnahmevorrichtung zu mikrokinematographischen Arbeiten mit Schmalfilm stammt von F SCHEMINZKY (Abb 229). Der Apparat, von der Firma REICHERT, Wien, hergestellt, besteht aus einer PATHÉ-BÉBÉ-Kamera, die auf einem massiven Universalstativ befestigt ist und ähnlich wie der Mikroskoptubus mit einem Trieb gehoben oder gesenkt werden kann. Das ganze Stativ läßt sich dabei auf Schlitten auch nach den Seiten hin bewegen. Schließlich kann man den Apparat quer zur Längsachse der Tischplatte (d h in sagittaler Richtung) verstellen, so daß also in allen drei Hauptrichtungen des Raums die Aufnahmekamera verstellbar ist und sowohl zu einem waagerechten wie einem senkrechten Mikroskop angepaßt werden kann. Dabei nimmt die ganze Einrichtung einen so geringen Raum in Anspruch, daß man

**168. Die Schmalfilmtchnik.** Offenkundig bedeutet die Verwendung des Schmalfilms eine Ersparnis an Filmmaterial und gleichzeitig wesentliche Ersparnisse an Ausgaben bei der Herstellung der Negativ- und Positivfilme (vgl HESS [1], F SCHEMINZKY [3], F SCHEMINZKY u S KANN [1] und W FERK [1]). W R HESS benutzt einen Schmalfilm von 16 mm Breite (Kodak-Safety-Film) mit einer Nutzfläche (für das Einzelbild) von nur 79 qmm. Auch von der Agfa sind 16 mm breite Schmalfilme zu beziehen. Während bei einem Normalfilm die laufende Minute etwa 24,50 RM kostet, ist der Preis eines 16-mm-Schmalfilms pro laufende Minute nicht mehr als 6,50 RM. Bei Gebrauch des von SCHEMINZKY benutzten PATHÉ-BÉBÉ-Films (10 mm breit) kostet die laufende Minute noch weniger, nämlich 4,65 RM (das Positivbild wird durch direktes Umkehrverfahren hergestellt). Es ist daraus ersichtlich, daß man bei ständiger Arbeit, namentlich bei Zeitraffer- und Zeitlupenaufnahmen beträchtliche Summen am Schmalfilm ersparen kann.

Ein weiterer Vorteil des Schmalfilms liegt darin, daß man mit ihm die kleinen, handlichen und billigeren Apparate, wie z B das Cine-KODAK-Modell der EASTMAN-KODAK-Co, Rochester, N Y, die PATHÉ-BÉBÉ-Kamera, die Cine-GEYER-Kamera,

sie bequem auf dem Arbeitstisch unterbringen kann. Ist der Tisch fest genug, so wird auch die Stabilität der Aufstellung nicht zu wünschen übrig lassen, denn bei den geringen Ausmaßen des Schmalfilms genügt schon ein Federantrieb, der mit weit geringerer Erschütterung arbeitet als der Greifmechanismus der Normalapparate. Man konnte befürchten, daß bei einer Bildfläche von 55 qmm ( $8,5 \times 6,5$  qmm) weniger Einzelheiten zu Abbildung gelangen als beim Normalfilm, das ist aber nicht der Fall. Erstens lassen sich selbst auf einer solchen kleinen Bildfläche die Vorgänge abbilden, die sich an einzelnen Zellen oder Geweben bzw. an Planktonorganismen abspielen (Abb 230), und zweitens zeichnet sich der Schmalfilm durch ein feineres Silberkorn aus, so daß am Negativ alle Einzelheiten feiner gezeichnet entstehen als beim Normalfilm. Allerdings muß man berücksichtigen, daß bei der feineren Kornelung die Empfindlichkeit geringer ist und die Belichtung mehr Zeit erfordert. Verwendet man aber ein an kurzwelligen Strahlen reiches Licht (z. B. die Quecksilberquarzlampe oder eine Starkstrombogenlampe), so lassen sich auch Zeitlupenaufnahmen mit Schmalfilmapparaten erzeugen.

Ein Nachteil des Schmalfilms ist darin zu erblicken, daß die fertigen Filme nur mit eigenen Vorführungsapparaten (Kodaskop, GEYER-Projektor, Bolex-Projektor) projiziert werden können, was bei Vorführungen auf Reisen oder beim Verleih und Austausch von Demonstrationsfilmen Schwierigkeiten verursachen wird. Dazu kommt noch, daß zu Projektionen auf längere Entfernungen, also zu Vorführungen in größeren Vortragssälen, sich die kleine Bildfläche schlecht eignet. Das Licht, welches durch eine solche kleine Bildfläche auf die Projektionsfläche geworfen wird, ist viel zu schwach. Diese genügend auszuleuchten, wenn man von mehreren Metern Entfernung projizieren muß<sup>1</sup>. Stellt man aber den Projektionsapparat nahe an den Schirm, so daß das Bild hell und gut ausgeleuchtet erscheint, so bleibt wiederum das Projektionsbild so klein, daß die Zuschauer aus einer großen Entfernung die Einzelheiten nicht wahrnehmen werden. Alle diese Hindernisse bei der Vorführung des Schmalfilms können behoben werden, wenn man den Negativschmalfilm auf einen Positivnormalfilm umkopieren läßt. Ebenso kann man Normalfilmmegative auf Schmalfilme kopieren lassen.

Was das Positivverfahren anbelangt, sei hier erwähnt, daß man oft von Schmalfilmaufnahmen keine Kopien anfertigt, sondern den Negativfilm im Umkehrverfahren direkt zum Positivfilm verarbeitet. Natürlich kann man aber ebensogut eine Kopie auf Positivschmalfilm oder -normalfilm erhalten. Zum Kopieren von Schmalfilmen hat SCHEMINZKY einen einfachen, vom Universitätsmechaniker CASTAGNA hergestellten Kopierapparat benutzt, mit welchem man sowohl die 9,5-mm- wie die 16-mm-Schmalfilme kopieren kann. Die Herstellung des Projektionsfilms durch eine Kopie des Negativs hat den Vorteil, daß man gewisse Mängel der Belichtung wettmachen kann. Auch ist es stets nützlich, die Negative der wertvollen wissenschaftlichen Aufnahmen aufzubewahren, damit von neuem Abzüge davon gemacht werden können, falls der



Abb 230 Bosmina  
REICHERT Obj. 3, Ok. IV. Aufgenommen auf PATHÉ 9,5 mm Schmalfilm. Kopie gegenüber dem Negativ etwa 8 mal vergrößert. (Aus F. SCHEMINZKY [3] Abb. 21, S. 363.)

<sup>1</sup> Auf die verschiedenen Konstruktionsformen der Projektionsapparate und ihre Handhabung kann hier nicht näher eingegangen werden (s. K. HOFER [1] und E. DEGENER [1]).

Positivfilm bei der Projektion abgenutzt wird oder sonst irgendwie zugrunde geht. Das Umkehrverfahren, d. h. die direkte Umwandlung des Negativfilms in den Positiven, hat wiederum den Vorteil, daß die letzten Feinheiten des Negativs beim Kopieren nicht verlorengehen, wie das sonst bekanntlich manchmal vorkommt. Daß man dabei auch die Ausgaben für die Herstellung des Positivs erspart, versteht sich von selbst.

Wir haben uns hier mit der Schmalfilmmethode ausführlicher befaßt, weil die Erleichterungen, die sie in finanzieller wie technischer Hinsicht schafft, allem Anschein nach sie zur mikrok cinematographischen Methode der Zukunft bestimmen. Die kleinen Schmalfilmapparate, etwa in der Anordnung, wie SCHEMINZKY sie getroffen hat, dürften in nicht allzu ferner Zukunft dieselbe Rolle in der mikrok cinematographischen Praxis der biologischen Laboratorien spielen wie die Aufsatzkameras in der Mikrophotographie. Wie diese letzteren die großen mikrophotographischen Apparate nicht vollkommen zu ersetzen vermögen, so können auch die kleinen Schmalfilmapparate die großen Kinoapparate nie vollkommen verdrängen, sie bieten jedoch die Möglichkeit, mit verhältnismäßig geringen Kosten und einfachen Mitteln die höchst wertvolle Methode der Mikrok cinematographie weit ausgiebiger zu wissenschaftlichen Forschungen heranzuziehen, als es bisher der Fall war, solange man ausschließlich auf kostspielige große Apparate angewiesen war.

**169. Die Korngröße und die Empfindlichkeit der Filme.** Das unbelichtete Filmmaterial wird als Rohfilm bezeichnet. Man unterscheidet dann Rohfilme für das negative und das positive Bild. Fast alle Rohfilme für das Negativbild der meistbekannten Herstellerfirmen (Agfa, GOERZ, LIGNOSE, PERUTZ, GEYER, Filmwerke DÜREN u. a. in Deutschland, PATHE, EASTMAN-KODAK, GEVAERT u. a. im Ausland) zeichnen sich durch ihre hohe Empfindlichkeit und eine günstige Gradation aus. Sie sind auch weitgehend für Grün und Gelb sensibilisiert, etwa im selben Grad wie die Silbereosinplatten. Die Schmalfilme sind zwar im allgemeinen weniger orthochromatisch als die Normalfilme, es gibt jedoch auch unter ihnen neuerdings orthochromatische oder panchromatische Sorten (z. B. der panchromatische Film von KODAK). Für bestimmte Farben starker sensibilisierte Negativfilme werden oftmals bei kapillarmikroskopischen Aufnahmen (JAENTSCH [1]), ferner bei Aufnahmen an vitalgefärbten Objekten oder bei chlorophyllhaltigen Pflanzenzellen benutzt. So eignen sich zur tonrichtigen kinematographischen Wiedergabe rotgefärbter Objekte besonders rotempfindliche Filme (vgl. J. BUDER [1]) oder kombiniert mit einem Grünfilter die grünempfindlichen (z. B. der Aeriochromfilm laut Angaben von L. GRAPPE [1]). Von solchen Objekten abgesehen hat jedoch die Orthochromasie des Filmmaterials bei den mikrok cinematographischen Aufnahmen keine besondere Bedeutung, denn in der Mehrzahl der Fälle sind die Objekte ungefärbt, und diese werden auch bei einem Filmmaterial mit geringerer Orthochromasie richtig abgebildet, wenn man, wie weiter noch ausgeführt wird, apochromatische Objektive und zur Beleuchtung ein an kurzwelligen Strahlen reiches Licht benutzt.

Eine höhere Bedeutung muß bei der Kürze der Belichtungszeiten der Empfindlichkeit des Filmmaterials beigemessen werden. Die Empfindlichkeit des Negativfilms beträgt durchschnittlich 15–18° SCHEINER. Außer solchen Rohfilmen mit normaler Empfindlichkeit können auch noch empfindlichere Filme bezogen werden (z. B. von den Filmen Agfa, GEVAERT, PERUTZ usw.), deren Empfindlichkeit 20–25° SCHEINER hoch ist. Zu Dunkelfeldaufnahmen und Zeitlupenaufnahmen eignen sich diese hochempfindlichen Filme besonders gut, zu Normalaufnahmen wird man jedoch lieber auf sie verzichten, weil sie, von ihrem bedeutend höheren Preis auch abgesehen, weniger haltbar sind als die Negativfilme mit normaler

Empfindlichkeit, und nach etwa drei Wochen ihre Empfindlichkeit schon merklich einbüßen

Die Positivfilme sind stets bedeutend weniger empfindlich als die Negativfilme. Ihre Empfindlichkeit verhält sich zu jener des Negativfilms etwa so wie die einer Extraapidplatte zu der eines normal arbeitenden Gaslichtpapiers.

Das Verhältnis der Belichtungszeiten ist etwa 1 (Negativ) zu 12 (Positiv), mit anderen Worten: die Kopie muß etwa 12mal so lange belichtet werden wie das Negativ. Alle diese Unterschiede hängen mit der Korngröße zusammen, welche bei den Negativfilmen wesentlich anders ist als bei den positiven. Die Negativfilme müssen, um die hohe Empfindlichkeit zu erhalten, mit einem verhältnismaßig groben Korn hergestellt werden, während umgekehrt die Positivfilme mit einem möglichst feinen Korn erzeugt werden, damit das Korn durch die starke Bildvergrößerung bei der Projektion nicht in Erscheinung trete. Deshalb liefern dann die Positivfilme auch meistens hartere Bilder als die normalen Gaslichtpapiere von demselben Negativfilm, ein Umstand, der sowohl bei den Anweisungen an die Kopieranstalt berücksichtigt werden muß (s. S. 378) wie auch dann, wenn man von einer Filmaufnahme zur drucktechnischen Wiedergabe einzelne Bilder auf Papier kopieren muß (s. Abb. 220).

Im allgemeinen gelten die Filmirollen als in hohem Maße feuergefährlich. Deshalb müssen sie, und zwar sowohl das Rohfilmmaterial wie die Negative und Positive, feuersicher aufbewahrt werden. Bekanntlich müssen sowohl bei der Bearbeitung des Rohfilmmaterials in den filmtechnischen Werkstätten wie auch bei der Vorführung der Filme bestimmte feuerpolizeiliche Vorschriften eingehalten werden (vgl. P. SCHROTT [1]). Arbeitet man jedoch mit den sog. feuersicheren oder unverbrennlichen Filmen, wie sie hauptsächlich zu Positivfilmen hergestellt werden (z. B. der Zellitfilm der Firma BAYER, „Pathé-Inflammable“ usw.), so braucht man die Feuergefahr weniger zu befürchten. Es sei jedoch bemerkt, daß auch die feuersicheren Zellitfilme verbrennbar sind, nur entzünden sie sich bei wesentlich höheren Temperaturen als die Zelluloidfilme. Sie schmelzen bei 200° C, ohne zu entflammen, während die Zelluloidfilme sich schon bei etwa 160° C entzünden.

**170. Die mikroskopisch-optische Einrichtung.** Es wurde schon früher erwähnt (s. S. 354), daß zwischen der mikroskopisch-optischen Ausrüstung eines mikrokinematographischen und der eines mikrophotographischen Apparates kaum welche wesentlichere Unterschiede bemerkbar sind. Die Wahl des abbildenden Systems, die Regelung der Beleuchtungsfragen und die lichtdichte Verbindung der Kamera mit dem Mikroskopstativ erfolgen hier wie dort nach den gleichen Grundsätzen (s. S. 25). Auf gewisse Umstände, welche bei der Zusammenstellung der mikroskopisch-optischen Ausrüstung für eine mikrokinematographische Aufnahme stärker berücksichtigt werden müssen, wollen wir jedoch etwas näher eingehen.

Im allgemeinen lassen sich die verschiedensten Formen der monokularen Mikroskopstative — größere und kleinere<sup>1</sup> — zu den Filmaufnahmen verwenden, ebenso die verschiedenen Linsenfolgen. Höheren Anforderungen entspricht jedoch nur ein großes mikrophotographisches Stativ mit einem weiten Tubus, einem zentrierbaren Tisch, einem großen Kreuztisch oder mikrophotographischen Kreuztisch und mit einer Einrichtung zum Heben und Senken des Mikroskoptisches. Vorzüglich geeignet ist zur Mikrokinematographie z. B. das Stativ des großen metallographischen Mikroskops (SCE 290) der Firma

<sup>1</sup> K. HOFLER [1] hat sogar mit dem kleinen Mikroskopstativ „Protam“ der Firma HENSOLDT Berlin, mikrokinematographische Aufnahmen erzielt.

ZEISS, das neben den sonstigen Einrichtungen eines großen photographischen Stativs auch einen heb- und senkbaren Mikroskopstisch hat. Das Heben und Senken des Tisches ist nämlich deshalb wünschenswert, damit man das Bild scharf einstellt, ohne etwas an dem Mattscheibenabstand ändern zu müssen. Diese Forderung ist vor allem wichtig, wenn man zur seitlichen Beobachtung eine Fernrohrvorrichtung nach der Art der am Phoku befindlichen mit Homalen benutzt.

Unter den Objektivsystemen wird man stets den Apochromaten den Vorzug geben, weil diese die bestmögliche Abbildungsscharfe liefern. Auf die Abbildungsscharfe der Aufnahme muß nämlich bei der starken Übervergrößerung, die das Filmbild durch die Projektion erfährt, doppelt geachtet werden.

**171. Der Einfluß der Projektion auf die erforderliche Vergrößerung.** Die Bildzeugung bei einer mikrokkinematographischen Aufnahme unterscheidet sich gerade in dem einzigen grundsätzlichen Punkt von derjenigen einer mikrophotographischen Aufnahme, daß bei der Mikrophotographie die erforderliche Vergrößerung — ähnlich und noch stärker als bei der Projektion von Diapositiven — neben den mikroskopisch-optischen Faktoren auch noch von der Entfernung abhängig ist, in der das Bild projiziert wird. Da diese Entfernung selten kleiner als 2 m, häufig aber (bei den großen Vorführapparaten) noch wesentlich größer ist, so wird die Aufnahme stets so gewaltig übervergrößert, daß selbst die schärfsten Aufnahmen mehr oder weniger unscharf erscheinen müssen. Bekanntlich merkt man diese Unschärfen um so weniger, je weiter vom Projektionsschirm man das Bild betrachtet. War jedoch die Aufnahme an und für sich schon unscharf, so erscheint sie beim raschen Bildwechsel von einiger Entfernung schon so verschwommen, daß man, namentlich in den mikrokkinematographischen Aufnahmen, gar keine Einzelheiten mehr wahrnehmen kann. Die starke Überschreitung der Grenzen der erforderlichen Vergrößerung wird also zur Folge haben, daß alle Mängel der Aufnahme, jede Unschärfe oder jeder Beleuchtungsfehler, die man bei subjektiver Beobachtung im Mikroskop oder an der Filmfläche noch kaum wahrgenommen hat, auf dem Lichtschirm bei der Projektion hundertfach vergrößert und vergrößert in Erscheinung treten. Dieser Umstand, welcher unmittelbar mit der zum Anfang schon hervorgehobenen eigenen Natur des kinematographischen Bildes zusammenhängt (s. S. 352), wirkt entscheidend sowohl auf die Wahl der abbildenden Linsenfolgen wie auf die Vorkehrungen, die man treffen muß, um das Bild auf dem Film mit äußerster Scharfe einzustellen. Auch bei der Festlegung des Vergrößerungsmaßes muß mit der Wirkung der Projektion gerechnet werden. Dazu ist zunächst zu bemerken, daß die Mattscheibenebene des Aufnahmeapparats, das ist der Filmstreifen knapp hinter dem Filmfenster, der Austrittspupille wesentlich näher liegt, als das üblicherweise bei der kürzesten Kammerlänge der mikrophotographischen Apparate der Fall ist. (Nur bei der Aufsatzkamera „Mifilmca“ liegen die Verhältnisse ähnlich wie in der Mikrokkinematographie.) Demzufolge wird das Bild auf der Filmfläche mit freiem Auge betrachtet kleiner erscheinen als das subjektiv beobachtete virtuelle Bild im Mikroskop. Die auf dem Film erzielte Bildgröße stellt die mikrokkinematographische Vergrößerung dar und entspricht dem, was man im Projektionswesen<sup>1</sup> als Glasbildgröße ( $g$ ) zu bezeichnen pflegt. Das Vergrößerungsmaß kann man für eine gegebene Linsenfolge genau feststellen, wenn man die Abbildung einer Mikrometerteilung — ähnlich wie in der Mikrophotographie im

<sup>1</sup> Vgl. in diesem Handbuch VI, 1 Teil, F. P. LIPSE u. ANG. Das Projektionswesen, S. 241.

Mattscheibenbild — hier auf dem entwickelten oder schon kopierten Film mit einem in Millimeter eingeteilten Meßband ausmißt. Dieses Bild wird also durch die Projektion weiter vergrößert zum Schirmbild, dessen Größe ( $s$ ) von dem Apparatabstand ( $a$ ) und der Brennweite der Projektionslinse abhängig ist laut Gleichung  $\frac{f}{g} = \frac{a}{s}$  oder  $s = \frac{a}{f} g$ .

Das Schirmbild wird also um so größer sein als das Filmbild, je größer die Entfernung ist, aus der das Filmbild projiziert wird, und je stärker die Linse des Projektionsapparats ist. Es ist sehr empfehlenswert, in allen Fällen, wo eine mikrokineographische Einrichtung regelmäßig und für verschiedene mikroskopische Aufnahmen benutzt wird, die Mühe nicht zu scheuen und das Vergrößerungsmaß am Filmbild bei den meist üblichen Linsenfolgen in der geschilderten Weise zu bestimmen und dann mit einem dazu geeigneten Projektionsapparat das Filmbild der Mikrometerteilung aus verschiedenen Abständen zu projizieren. Wird das Schirmbild ebenfalls gemessen, so erhält man eine richtige Vorstellung von dem Einfluß der Projektion auf die kineographische Bildvergrößerung und wird sowohl den günstigen Projektionsabstand zur Vorführung der Mikroaufnahmen leichter feststellen wie auch die zu der gewünschten Vergrößerung geeignete Linsenfolge richtig treffen.

Nach diesen Feststellungen dürfte es leicht verständlich sein, daß bei einer mikrophotographischen Abbildung weniger das Vergrößerungsmaß des Filmbildes als viel eher die Schärfe und die optische Auflösung dieses Bildes die Hauptrolle spielen. Enthält das kleine Filmbild schon alle Feinheiten scharf abgebildet, so erscheinen die Strukturen auch bei einer sehr starken Übervergrößerung weitgehend ausgelöst und von befriedigender Schärfe (s. Abb. 220). Deshalb sollte auch bei der Auswahl der Objektive die Korrektion und die num. Ap. in erster Reihe beachtet werden. Die Stärke oder die Einzelvergrößerung der Objektive ist, von speziellen Fällen abgesehen, weit weniger wichtig als die num. Ap., von der die Abbildungsschärfe und die Auflösung unmittelbar abhängig sind. Man erhält z. B. eine unvergleichlich bessere Wirkung von Aufnahmen mit einem Apochromat 4 mm, 40fach, num. Ap. 0,95 als mit dem Achromat 40fach, num. Ap. 0,65. So wählt man für jede Objektivergrößerung stets das Linsensystem, welches in diesem Vergrößerungsbereich die größte num. Ap. aufweist. Man beachte ferner, daß der Eindruck des vergrößerten Bildes, den man bei der subjektiven Beobachtung mit einer Linsenfolge von bestimmter Stärke zu erhalten pflegt, in der Mikrokineographie stets mit Linsenfolgen von bedeutend geringerer Stärke erreicht wird. So wird man in der Regel von einer Aufnahme mit Apochromat 25 mm (WINKEL) und komp. Okular 10fach bei der Projektion denselben Eindruck erhalten wie bei der subjektiven Beobachtung von einem durch den Achromat 8fach und das Okular 10fach geheferten Bild. Behält man aber diese letztere Linsenfolge auch zur Aufnahme, so wirkt das projizierte Filmbild etwa so, wie man es mit einem Objektiv 20fach oder 40fach und dem Okular 10fach im Mikroskop wahrzunehmen pflegt.

**172 Die Größe des Gesichtsfeldes.** Diese Erscheinung ist nicht allein von der durch die Projektion bewirkten Bildvergrößerung abhängig, wie man zunächst anzunehmen geneigt ist, sondern fast in gleichem Maße auch von dem Verhältnis, in welchem die Größe des abgebildeten Objekts zu der des abgebildeten Gesichtsfeldes steht. Nun wird bei der kineographischen Abbildung mikroskopischer Objekte nur ein viereckiger Ausschnitt aus dem kreisrunden Gesichtsfeld des Mikroskops auf dem Film abgebildet (entsprechend den Ausmaßen des Bildfensters und dem Abstand des Filmstreifens vom RAMSDENSchen Kreis), und



folglich wird in dem so verringerten Gesichtsfeld das Bild des Objekts verhältnismäßig groß erscheinen. Die von der kinematographischen Aufnahmetechnik bedingte Einschränkung des Gesichtsfeldes ist für die Wahl der Aufnahme-linsen vielfach von entscheidender Bedeutung. So wird man vor allem bei der Abbildung frei beweglicher Objekte (Planktonorganismen, Protisten, Bakterien) das Größenverhältnis, in welchem das Objekt zum freien Gesichtsfeld stehen soll, sorgfältig prüfen und zu den Aufnahmen stets wesentlich schwächere Linsenfolgen anwenden, als man sie bei der mikroskopischen Beobachtung benutzt hat. Erfolgen die Bewegungen in einem im Verhältnis zum Objekt allzu eng bemessenen Bildfeld, so wirkt die kinematographische Vorführung, trotz sonstiger optischer Vorzüge der Aufnahmen, weit weniger eindrucksvoll als dann, wenn die Bewegungen in einem der Objektgröße angemessenen Gesichtsfeld dargestellt werden. Ob nun diese Bewegungen von Copepoden und sonstigen Planktontieren ähnlicher Größenordnung, von größeren Infusorien und ähnlichen Protisten oder von kleinen Flagellaten (z. B. Trypanosomen), Spizillen und Bakterien ausgeführt werden, immer beachte man die Regel, daß die Aufnahme mit einem schwächeren Objektiv von einer höheren Apertur erfolgen soll, als man es von der mikroskopischen Praxis her gewohnt ist.

Die längere Brennweite des Objektivs bewirkt dann, daß das bewegliche Objekt aus dem Gesichtsfeld während der Aufnahmen nicht so rasch verschwinden kann, und man also nicht gezwungen ist, den Kreutztisch zu bewegen, was — sollte es während der Aufnahmen erfolgen — meistens sehr ungünstige Folgen hat. Im übrigen wendet man auch bei den mikrokinematographischen Aufnahmen dieselben Kunstgriffe an, um das Objekt im Gesichtsfeld zu halten, wie bei der Momentphotographie (s. S. 348).

**173. Die Okularvergrößerung.** Aus all dem, was über die Größe des Filmbildes und die dadurch bedingte Einschränkung des Gesichtsfeldes bisher festgestellt wurde, folgt leichtverständlicherweise, daß die Okularvergrößerung in der Mikrokinematographie nur eine untergeordnete Rolle spielt. Stärkere Okulare kommen nur in Betracht, wenn man bei der Einstellung wegen der Form des Objektbehalters oder der Höhe der Objektschicht gezwungen ist, schwächere Objektive mit größerer Tiefenschärfe zu wählen (s. S. 349) und die gewünschte Bildvergrößerung (auf dem Film) erst durch ein stärkeres Okular erzielt. Im übrigen wählt man stets Okulare mit einer schwachen Einzelvergrößerung und verzichtet lieber ganz auf die starken. Auch die Frage der Bildebnung spielt bei der Kleinheit der Bildfläche nicht die wichtige Rolle, wie das in der Mikrophotographie der Fall ist. Es wird ja am Filmband nur ein Viereck aus der Mitte des Gesichtsfeldes abgebildet, und so können die von der Bildfeldkrümmung verursachten Randunschärfen nicht in Erscheinung treten, gleichgültig, ob man Homale und Periplanate benutzt oder nicht. Wichtiger ist natürlich, daß man zu den Apochromaten die passenden Kompensationsokulare benutzt. Die periplanatischen Okulare können — namentlich mit den Objektivlinsen der LEITZ-Weite — mit dem gleichen Vorteil verwendet werden wie die Kompensationsokulare. Gewöhnliche HUYGENSsche Okulare werden den hohen Forderungen, die man bei mikrokinematographischen Aufnahmen aus schon erwähnten Gründen bezüglich Abbildungsschärfe stellen muß, nie vollkommen entsprechen, selbst bei Aufnahmen mit den schwächsten Apochromaten (40 und 24 mm WINKLER). Die Homale I—IV, die in der Mikrophotographie sonst so vorzügliche Dienste leisten, eignen sich wegen ihrer starken Eigenvergrößerung (12fach) für mikrokinematographische Aufnahmen weniger. Hier kommen dafür die Homale L und H in Betracht, die man bei der Aufsatzkamera „Phoku“ zu benutzen pflegt. Bei ihrer Verwendung muß man allerdings erst für ihre vorschriftsmäßige Unter-

bringung im Mikroskoptubus sorgen und die Filmebene des Aufnahmeapparates genau in dem den Brennweiten der Homale angepaßten Abstand einstellen. Am besten erreicht man dieses, wenn man die Homale in der Vorrichtung zur seitlichen Beobachtung in ähnlicher Weise unterbringt wie beim Phoku (s. S. 168).

**174. Die lichtdichte Verbindung** zwischen Mikroskop und Aufnahmekamera erfolgt nach denselben Grundsätzen wie allgemein in der Mikrophotographie. Ob man dabei eine starre Lichtschutzmanschette mit Rohrstützen benutzt wie sonst in der Mikrophotographie oder die Verbindung statt des Rohrstützens mit einem kleinen Balgauszug herstellt, wie es bei einigen mikrokinematographischen Apparaten (z. B. bei dem Apparat nach v. ROTHE) der Fall ist, hat für die Aufnahmetechnik keine größere Bedeutung. Ein Balgauszug, dessen Öffnung, unten durch einen Metallring versteift, glatt in die Rinne der Lichtschutzmanschette hineinpaßt, hat den Vorteil, daß man mehr Spielraum hat, den Mikroskoptubus während der Aufnahme nach oben und nach unten zu verstellen, was bei Aufnahmen von größeren, rasch beweglichen Objekten wegen der scharfen Einstellung oft erforderlich ist. Aus mikroskopisch-optischen Gesichtspunkten ist es jedoch günstiger, wenn der Abstand zwischen der Filmebene und der Austrittspupille des Mikroskops während der Aufnahme nahezu unverändert bleibt. Es ist ohne weiteres klar, daß jede größere Änderung dieses Abstandes die Bildvergrößerung am Filmrand beeinflussen wird. Beim Heben des Tubus wird das Bild des Objekts kleiner und beim Senken größer. Ein solches Wechseln des Vergrößerungsmaßes wirkt aber bei der Vorführung ungemein störend, namentlich bei etwas stärkeren Vergrößerungen, ganz abgesehen davon, daß in der Zeit, während man von einer Einstellebene in die andere gelangt, eine Reihe von Einzelbildern vollkommen unscharf abgebildet werden. Man vermeidet deshalb möglichst jede grobe Verstellung des Mikroskoptubus und trachtet, durch Heben und Senken des Mikroskoptisches, das Objekt in der Ebene der scharfen Einstellung zu halten. Geringe Änderungen des Objekt-Bildabstandes während der Aufnahme, wie solche durch die feine Einstellschraube verursacht werden, schaden im allgemeinen nicht. Immerhin werden auch hier in der Zeit der Fokussierung Bildreihen unscharf abgebildet, und die Frage, wie weit dann solche unscharfen Einzelbilder bei der Vorführung störend empfunden werden, hängt von der Tiefenscharfe des Objektivs und von dem Hohenunterschied zwischen zwei aufeinanderfolgenden Einstellungen ab. Geringe Verstellungen der optischen Achse entlang gestattet der Rohrstützen mit der Lichtschutzmanschette ebensogut wie der Balgauszug.

**175. Die Beleuchtungseinrichtung.** Die Besonderheiten der Beleuchtung sind im wesentlichen alle dadurch bedingt, daß 1 die kurzen Belichtungszeiten eine sehr lichtstarke Beleuchtung erfordern, 2 aber die aufeinanderfolgenden Einzelbilder möglichst gleichartig belichtet werden müssen. Diesen Forderungen entspricht man am besten, wenn man eine Beleuchtungseinrichtung, wie man sie zu den großen mikroskopischen Kammeren zu verwenden pflegt, auf einer optischen Bank genau ausgerichtet aufstellt. Bei der Verwendung von Kollektoren, Hilfskollektoren, Zentrierlinsen, Brillencondensoren usw. gelten dieselben Vorschriften wie in der Mikrophotographie<sup>1</sup> (s. S. 154 ff.). Der Schwerpunkt der ganzen Beleuchtungsfrage liegt bei der Lichtquelle (vgl. H. LUX [1]). Die Forderungen, die

<sup>1</sup> Zur besseren Zentrierung des Strahlenganges wird vielfach ein rechtwinkliges Prisma benutzt statt des Mikroskopspiegels (vgl. auch S. 160). Die ersten Bahnbrecher der Mikrophotographie (L. BULI [1], K. REICHER [1], W. SCHEFFLER [1]) und in neuerer Zeit auch FR. KOHLER [1, S. 1147] messen der Frage, ob man Prisma oder Spiegel zur Beleuchtung verwenden soll, eine größere Bedeutung zu als ihr in der allgemeinen mikrokinematographischen Praxis in Wirklichkeit zukommt.

man an die Leistungsfähigkeit der Lichtquelle stellt, sind 1 von der Aufnahme-frequenz, 2 von der Apertur des Objektivs, 3 von der Art der mikroskopischen Beleuchtung (ob im Hellfeld, im Dunkelfeld, im polarisierten oder im auffallenden Licht) und schließlich 4 von der Dauer der Aufnahme abhängig. Bei Aufnahmen mit schwachen Vergrößerungen im Hellfeld oder bei einer niedrigen Aufnahme-frequenz genügen die Schwachstromkohlenbogenlampen, die Punkthchtlampen Typ 2G oder die Niedervoltlampen vollkommen, vorausgesetzt, daß das Licht regelrecht auf das Objekt konzentriert ist. Bei starken Vergrößerungen im Hellfeld, bei allen Aufnahmen im Dunkelfeld, Auflicht oder polarisiertem Licht, ferner bei höheren Aufnahme-frequenzen als den normalen (Zeitlupenaufnahmen) ist man auf Starkstromkohlenbogenlampen mit automatischer Regelung angewiesen.

Meistens wird ein Strom von 12—15 Amp erforderlich sein, zu Dunkelfeld-aufnahmen bei starken Vergrößerungen (z. B. von *Spirochaeta pallida*), zu Aufnahmen in auffallendem Licht (z. B. Blutkapillaren des Nagelfalzes bei 70facher Vergrößerung) und selbstverständlich auch zu Zeitlupenaufnahmen muß man jedoch einen bedeutend stärkeren Strom (bis zu 50—60 Amp) anwenden. Bei solchen starken Strömen sind nur Dochkohlen oder Mantelkohlen verwendbar, z. B. die mit einem Kupferüberzug versehenen GOERZ-Dochkohlen nach BECK. Allen Forderungen, die man bei mikrokineematographischen Aufnahmen stellen kann, entsprechen die kleinen Projektionslampen (Modell EGM II) der Firma KORTING & MATHIESSEN, Leipzig-Leutzsch, für Gleichstrom und die Kandem-Mikroprojektionsbogenlampen (Modell KEG derselben Firma für Wechselstrom) sehr gut (s. Abb. 29). Wegen ihres starken und ruhigen Lichtes wird auch die automatisch regulierbare Bogenlampe der Firma GOERZ, Leipzig-Leutzsch, sehr geschätzt. Sie ist eine Gleichstrombogenlampe, die bis zu einer Stromstärke von 25—30 Amp benutzt werden kann. Das Lampengehäuse ist mit einem Kondensor aus UV-Glas ausgerüstet, wodurch das Licht, das in das Mikroskop einfallt, reich an aktinischen Strahlen bleibt. Sehr gut bewahrt haben sich auch die sog. Spiegel-lampen, bei denen das von den Kohlen erzeugte Licht durch einen nach Art eines Reflektors in das Lampengehäuse eingebauten Kugel- oder Ellipsenspiegel auf den Kollektor der Lampe konzentriert wird. Solche Spiegelampnen, die bisher hauptsächlich in der Makrokineematographie benutzt werden, aber ebensogut für die Mikrokineematographie brauchbar sind (H. NAUMANN [4]), werden von den Firmen HAHN-GOERZ, Kassel, KRUPP-ERNEMANN und anderen gebaut.

Ein Nachteil der Starkstrombogenlampen ist bekanntlich (s. S. 70) der, daß die konzentrierten Strahlen in der Objektebene überaus hohe Temperaturen erzeugen. Je näher die Bogenlampe am Mikroskop steht, um so stärker wird die schädliche Wirkung der Wärmestrahlen bemerkbar sein. Schon aus diesem Grunde soll man die Starkstrombogenlampen auf eine längere optische Bank (1—1½ m) aufstellen und das fahrbare Gestell der Beleuchtungseinrichtung dem Mikroskop nicht zu nahe stellen. Dann Sorge man für einen verlässlichen Wärmeschutz (s. S. 70). Es wurden früher vielfach Wasserbehälter mit Zirkulation oder Kuvetten mit ammoniakalischer Kupfersulfatlösung dazu verwendet, das Verlässlichste ist jedoch, zwei Kuvetten mit MOHRscher Salzlösung hintereinander aufzustellen. H. NAUMANN [4] empfiehlt das Wärmeschutzglas der deutschen Spiegelglas-A.-G. Grunow-Plan-Ahlfeld, das sich recht gut bewahren soll. Einen gewissen Wärmeschutz bietet auch die Vorschaltung einer Mattscheibe, die man aber nicht unmittelbar vor der Starkstromlampe aufstellen darf, denn hier könnte sie leicht platzen, sondern entweder mit einem Reiter bzw. dem Kollektor auf der optischen Bank oder in dem Blendenträger des ABBSchen Apparates. Man kann die Objekte vor den Wärmestrahlen auch so schützen, daß

man die Kinoblende aus der Kamera herausnimmt und vor dem Objekt, d. h. zwischen Lichtquelle und Mikroskop aufstellt. So war z. B. die erste große mikrokineamatographische Einrichtung gebaut, mit der COMMANDON anfangs des Jahrhunderts seine unbeeinträchtigten mikrokineamatographischen Aufnahmen gemacht hat. Da die rotierende Verschlussscheibe nur in einem Sektor offen ist, dessen Winkel maximal  $180^\circ$  beträgt, so wird das Objekt nur im Moment der Belichtung den Wärmestrahlen ausgesetzt, während sonst, wenn die Kinoblende hinter dem Objekt steht, dieses die ganze Zeit, also auch zwischen den Belichtungen, bestrahlt wird. Bei verlässlichen Wärmefiltern lohnt es sich kaum, diesen umständlichen Umbau des Aufnahmeapparates vorzunehmen. Zweckmäßiger ist es, um die Objekte vor übermäßiger Lichtwirkung zu schützen, zur subjektiven Einstellung eine Hilfslampe aufzustellen oder die Vorbereitungen zur Aufnahme bei einer Unterbelastung der Bogenlampe durchzuführen.

Die Hitze des Kohlenbogenlichts wirkt nicht nur auf das Objekt, sondern auch auf die im Raum beschäftigten Personen schädlich. Arbeitet man mit einem 40 Amp. starken Strom langer, so wird die Hitze im Aufnahmeraum fast unerträglich. Daß auch die Luft durch Verbrennungsgase in kurzer Zeit recht ungesund wird, liegt auf der Hand. Für eine gute Ventilation sollte jedenfalls Sorge getragen werden.

Ein grundsätzlicher Mangel der Kohlenbogenlampe besteht auch darin, daß ihr Licht trotz der automatischen Regelung nicht vollkommen gleichmäßig ist. Im Moment des Kohlennachschubes sinkt nämlich die Spannung und demzufolge auch die Lichtintensität (s. S. 69). Wenn auch diese Schwankung in der Lichtstärke nur einige Sekunden lang bemerkbar ist, so genügt sie doch, um die Belichtung des Aufnahmefilms ungleichmäßig zu gestalten. Da die Regelung meistens nur in Intervallen von einigen Minuten erfolgt, lassen sich kinematographische Aufnahmen, die 2—3 Minuten dauern, ohne Störung durchführen, wenn man mit der Aufnahme knapp nach erfolgtem Kohlennachschub beginnt. Zu Zeitrafferaufnahmen eignen sich jedoch die Kohlenbogenlampen schlecht und man hat selbst mit den verlässlichsten Bogenlampen viel Mühe (muß das Licht während der ganzen Dauer der Aufnahme überwachen), wenn man auf diese angewiesen ist (Zeitrafferaufnahmen im Dunkelfeld bei starken Vergrößerungen [CANTI, I] oder in auffallendem Licht [GRAPER, I]). Unvergleichlich bequemer arbeitet man mit den Glühlampen oder Punktlichtlampen. Das Licht der Punktlichtlampe ist natürlich bedeutend schwächer als das der Starkstromkohlenbogenlampe, es genügt jedoch schon vollkommen zu Aufnahmen bei schwachen Vergrößerungen mit einer Aufnahme Frequenz von 16 Bildern in der Sekunde. Da in vielen Fällen die Objekte, bei denen man Zeitrafferaufnahmen von mehreren Tagen zu machen pflegt, (wachsende Gewebekulturen, embryonale Entwicklung), keine allzu starken Vergrößerungen erfordern, eignen sich die Punktlichtlampen zu Zeitrafferaufnahmen im allgemeinen recht gut, denn mit ihnen bleibt die Belichtung tagelang unverändert. Bei ihrer Verwendung zu Zeitrafferaufnahmen muß man jedoch stets die Konstruktion des Zeitraffers genauestens berücksichtigen. COMMANDON [I] weist darauf hin, daß bei einer Frequenz von 20 Bildern in der Minute (1 Bild alle 3 Sekunden) schon die Helligkeit einer Glühfadenslampe genügt, falls die Fadenanordnung möglichst punktförmig ist. Zu solchen und ähnlichen Aufnahmen genügen schon die Niedervoltlampen (LITZ) oder die Halbwattbirnen der Firma REICHERT vollkommen.

Häufig werden Lampen vorgeschaltet, deren Licht an kurzwelligen blauen und zu ultravioletten Strahlen besonders reich ist. So empfiehlt W. R. HESS (J. S. 2321) Aufnahmen mit Schmalfilm die Quecksilberquarzlampe nach JESIONEK (System Hanau), die von 1—1,2 m Entfernung ein Licht von etwa 5000 Keizen

liefert<sup>1</sup> Dieses an UV-Strahlen reichhaltige Licht wirkt bei Schmalfilmaufnahmen um so günstiger, als dadurch die vom feineren Korn herrührende geringe Empfindlichkeit des Films wettgemacht und dabei die Auflösung des Bildes bedeutend gefordert wird. Der letztere Umstand mußte eigentlich bei allen mikrokineematographischen Aufnahmen, wo ein sehr kleines Bildformat durch Projektion stark vergrößert werden muß — in erster Reihe natürlich bei den Schmalfilmaufnahmen — besonders berücksichtigt werden. Es wird zwar oft empfohlen, kurzwelliges Licht zu den Aufnahmen zu verwenden, in Wirklichkeit jedoch gelangt nur ein ganz geringer Bruchteil der UV-Strahlen auf die lichtempfindliche Schicht. Es ist leicht verständlich, daß bei einer Einrichtung mit Glaslinsen fast alle UV-Strahlen verschluckt werden und von den kurzwelligen Strahlen nur die sichtbaren blauen und violetten auf die lichtempfindliche Schicht einwirken werden. Selbst dort, wo die Lampe mit einem UV-Kollektor ausgerüstet ist (wie z. B. die Kohlenbogenlampe der Firma GOERZ, Leipzig-Leutzsch), verliert das Licht den größten Teil seines Gehalts an UV-Strahlen, während es durch die Glaslinsen der Beleuchtungseinrichtung, durch den Objektträger und das Deckglas und schließlich durch die Glaslinsen des Mikroskops zum Film gelangt. Das ist in vielen Fällen von Vorteil, denn eine Reihe biologischer Objekte (z. B. Infusorien und sonstige Protisten) vertragen keine Beleuchtung mit UV-Strahlen, selbst auf die Dauer von einigen Sekunden nicht. Das Vorschalten einer Mattscheibe gewährt in den meisten Fällen schon einen ausreichenden Schutz gegen die UV-Strahlen, wo man aber die Stärke der Beleuchtung durch die Mattscheibe nicht verringern will (Zeitlupenaufnahmen, Aufnahmen bei starken Vergrößerungen) oder für das UV-Licht sehr empfindlichen Objekten empfiehlt es sich, eine Kuvette mit 5proz. Chininsulfatlösung vorzuschalten.

Für die Kontrastwirkung des mikrokineematographischen Bildes sind dieselben Faktoren maßgebend, die schon in der Mikrophotographie lebender Objekte — um solche handelt es sich ja meistens auch in der Mikrokineematographie — eingehend gewürdigt wurden. Bezüglich der Fragen der Blendenöffnung, der Lichtfilter, der Vitalfärbungen und ähnlichem beachte man das dort Gesagte.

Bei Aufnahmen im Dunkelfeld (Abb. 227), in polarisiertem Licht und im Auflicht sind ebenfalls und allgemein dieselben Vorschriften zu befolgen wie in der Mikrophotographie (s. S. 199, 274, 218), nur erfordern die Aufnahmen bei Normalfrequenzen eine sehr hohe Lichtintensität (s. S. 372). Zu Zeitrasteraufnahmen mit solchen besonderen Beleuchtungsarten genügt jedoch auch hier das Licht der Punktlichtlampe. Wertvolle Angaben über die Aufnahmetechnik im Dunkelfeld erhält man bei CANTI (1), über die Zeitrasteraufnahmen im Auflicht und über die Stereomikrokineematographie im Auflicht bei GRAPPE (1).

**176. Die scharfe Einstellung und die Kontrolle.** Im Zusammenhang mit der Frage der lichtdichten Verbindung haben wir bereits einiges über die Einstellung des Bildes erfahren, was noch mit weiteren Einzelheiten ergänzt werden muß. In der Mikrokineematographie gibt es zwei Arten von Einstellungen des Bildes, die man als direkte und indirekte Einstellung unterscheiden kann. Die direkte Einstellung auf den Film erfolgt bei dem schon erwähnten Beobachtungsfensterchen, in welchem das Bild auf dem Film sichtbar wird, sobald die Öffnung der Kamera durch den offenen Sektor der Blende freigegeben wird. Im Beobachtungsfenster stellt man also das Bild, das man aufnehmen will, auf der Schicht des Filmbandes oder bei manchen Apparaten, wo das Bildfenster

<sup>1</sup> Ähnliche Dienste leistet auch die Hagen-Lampe der Firma SCHOTT u. GEN. oder die Quecksilberlampe der Verreille-Scientifique-Paris. Die letztere Lampe zeichnet sich bei gleichem Stromverbrauch wie die Jüstons-Quarzlampe durch eine etwa doppelt so starke photographische Wirkung aus.

mit einer Mattscheibe ausgerüstet ist, auf dieser direkt ein Erfolg der Einstellung mit freiem Auge, so läßt sich das Bild auf einer Mattscheibe scharf einstellen als auf dem Filmband, denn im letzteren Fall muß man durch die ganze Dicke des Films hindurchblicken, was trotz der geringen Dicke des Films störend ist, da man dabei durch die Emulsion der photographischen Schicht beobachten muß. Meistens pflegt man jedoch das Bild nicht mit freiem Auge, sondern mit einer 4—8fachen Einstellupe scharf einzustellen, was natürlich nur auf der Filmschicht und nicht auf einer Mattscheibe erfolgen kann. Bei der Benutzung der Fernrohrlupe, die zu den größeren Aufnahmeapparaten mitgeliefert wird und vielfach auf dem Fensterchen schon befestigt ist, gelten dieselben Vorschriften wie in der Mikrophotographie (s. S. 91). Ob das Fensterchen mit einer Fernrohrlupe ausgerüstet ist oder nicht, stets soll es lichtdicht verschließbar sein.

Die direkte Einstellung hat zwei wesentliche Nachteile. Erstens ist das Bild im Fensterchen schon bei mittelstarken Vergrößerungen ziemlich lichtschwach, da man, wie schon erwähnt, durch die opake Schicht der Emulsion beobachten muß. Noch lichtschwächer wird natürlich dieses Bild durch die starke Einstellupe erscheinen, und daran hilft selbst die Verdunklung des Aufnahme-raums nur wenig. Der zweite Nachteil ist aber, daß man am rollenden Filmband kein ruhiges Bild beobachten kann, da die rotierende Blende ein Flimmern verursacht, was die Beobachtung feiner Einzelheiten verhindert. Nur bei ganz schwachen Vergrößerungen, wo man höchstens die Abbildung der äußeren Form oder der groberen Struktur von Objekten in der Größenordnung von Askaniseiern, Daphnien oder Planktonorganismen, kann man die Aufnahme direkt am rollenden Filmband mit der Fernrohrlupe beobachten, ebenso selbstverständlich bei allen Zeitrafferaufnahmen.

Aus den angeführten Gründen ist eine seitliche Beobachtung zur indirekten Einstellung des Bildes und zur ständigen Kontrolle der Aufnahme in der Mikrokineematographie so gut wie unentbehrlich. Zu einer mikrokineematographischen Einrichtung, mit der man systematisch wissenschaftliche Arbeit leisten will, gehört als wesentlicher Bestandteil die seitliche Beobachtung. Die meisten größeren mikrokineematographischen Apparate werden schon mit einem seitlichen Beobachtungsrohr geliefert, so z. B. die Einrichtung nach HOFFER (Askania-Werke) und die mikrokineematographische Einrichtung der LEITZ-Werke. Unter den kleineren dient beim Universal-Kinamo (ZEISS-Ikon) das Mikrophot als seitliche Beobachtung (Abb. 231). Die Schmalfilmeinrichtung von

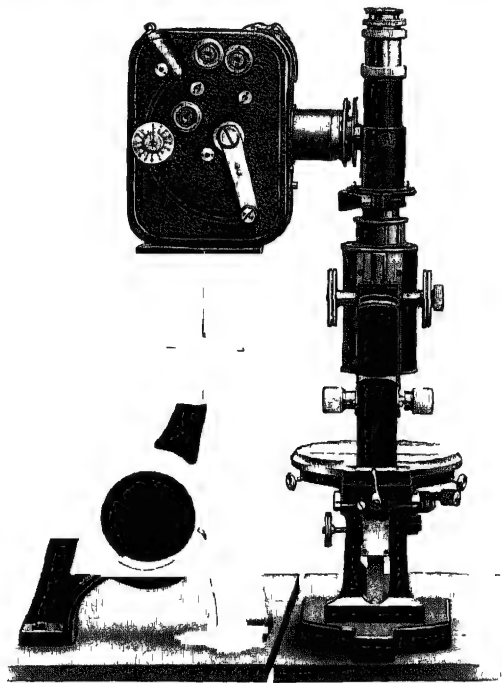


Abb. 231. Universalkinamo mit Mikrophot der Firma ZEISS-Ikon A. G. (Aus Druckschnitt der genannten Firma W. 220.)

SOHEMINZKY ist mit einem Einblickokular der Firma REICHERT, Wien, ausgerüstet (vgl. Abb. 229). Wo eine solche Beobachtungsvorrichtung fehlt (wie z. B. bei der Einrichtung von H. ROSENBERGER, dem ERNEMANN-Apparat u. a. m.), dort läßt man am besten eine solche nach Art der an den Aufsatzkammern befindlichen anfertigen.

Zwei Bauarten scheiden hier grundsätzlich aus: 1. solche, durch welche man das mikroskopische Bild nicht durch die Austrittspupille, sondern im Bildfenster beobachtet, 2. solche, wo das Beobachtungsrohr nicht mit dem Mikroskoptubus, sondern mit der Aufnahmekamera verbunden ist<sup>1</sup>. Wird nämlich das Bild im Bildfenster beobachtet, so erscheint hier natürlich die rotierende Blende ebenso sichtbar wie bei der direkten Beobachtung im Beobachtungsfenster, und das Flimmern des Bildes wird ebenso stören wie dort<sup>2</sup>. Die starke Verbindung des Beobachtungsrohres mit der Kamera, wie sie verschiedentlich versucht wurde, hat wiederum den Nachteil, daß die Austrittspupille des abbildenden Systems, die bei Benutzung von Beobachtungsrohren in das Prisma verlegt wird, während des Filmtansports mit der Kamera mitschwingt, was ebenso schädlich ist, als wenn die Erschütterungen der Kamera auf das Mikroskop übertragen wurden.

Die Beobachtungseinrichtung zur seitlichen Beobachtung muß also mit dem Mikroskoptubus fest verbunden und von der Kamera unabhängig untergebracht werden, etwa so, wie man es haben würde, wenn man bei einer Aufsatzkammer die Kamera von der Beobachtungsvorrichtung trennen und auf einem Gestell für sich allein aufstellen würde. Ebenso konnte man das Mikrophot auch zu größeren Aufnahmekammern verwenden, wenn man die Kamera waagrecht aufstellt und sie mit einem entsprechenden Zwischenstück zur lichtdichten Verbindung versieht. Wird aber ein Beobachtungsrohr gewählt, wie man es bei den Aufsatzkammern benutzt, so muß beachtet werden, daß man bei der Dauerkontrolle der mikrokineematographischen Aufnahme mehr Bequemlichkeit haben muß als bei Momentaufnahmen mit einer Aufsatzkammer. Aus diesem Grund kommt als Beobachtungseinrichtung für seitliche Beobachtung bei mikrokineematographischen Aufnahmen in erster Reihe das Beobachtungsrohr in Betracht, wie man es beim „Phoku“ hat. Der Nachteil, daß man mit ihm nur Homale und nicht die von der subjektiven Beobachtung her gewohnten Okulare benutzen kann, stört in der Mikrokineematographie nicht im geringsten (s. S. 170).

Das Beobachtungsrohr wird man zweckmäßig so herstellen lassen, daß man das Umkehrprisma ausschalten kann, damit man bei Aufnahmen, die eine sehr intensive Beleuchtung erfordern, das volle Licht auf den Film werfen kann. Natürlich wird man bei ausgeschaltetem Prisma die seitliche Beobachtung nicht benutzen können, bei den Aufnahmen jedoch, wo man auf ein solches Verfahren angewiesen ist, kann man getrost auf die seitliche Beobachtung während der Aufnahme verzichten, da entweder die Bewegungen der Objekte sehr gering sind (z. B. die Molekularbewegung der Ultrateilchen oder die Fortbewegung der *Spinochaeta pallida*) oder die Dauer der Aufnahme sehr kurz ist (Zeitlupenauf-

<sup>1</sup> Die Beobachtungsvorrichtung beim HOFER'schen Apparat (vgl. K. HOFER [2]) ist zwar mit der Aufnahmekamera verbunden, diese letztere arbeitet jedoch so erschütterungsfrei, daß die Austrittspupille des abbildenden Systems ständig in der optischen Achse verbleibt.

<sup>2</sup> Das Verfahren von J. AUE (1), wo der verschlossene Teil der rotierenden Blende weiß angestrichen wird, und man also das Bild auf der weißen Fläche der Blende beobachten kann, hebt diesen Nachteil auf, gestattet aber keine genaue scharfe Einstellung. Wir wollen uns hier nicht länger mit solchen Konstruktionen betassen, da sie heute, wo man viel einfacher und dabei besser das mikroskopische Bild durch die Austrittspupille des Mikroskops während der Aufnahme beobachten kann, nur noch eine historische Bedeutung haben.

nahmen) Abgesehen von den Dunkelfeldaufnahmen bei starken Vergrößerungen oder den Zeitlupenaufnahmen wird man bei intensiver Beleuchtung selten das Umkehrprisma ausschalten müssen. Erfordern jedoch die Aufnahmen stärkste Lichtintensität und dabei eine fortlaufende Kontrolle des mikroskopischen Bildes (z. B. mikrurgische Operationen im Dunkelfeld), so empfiehlt es sich, statt eines Prismas mit einer planparallelen Glasscheibe (Deckglas) die Teilung der Lichtstrahlen zu erzielen (vgl. F. SCHEMINZKY [3]). Fast 98% des Lichtes werden dann auf die Filmfläche gelangen und nur sehr wenig Licht dient zur subjektiven Beobachtung. Die subjektive Beobachtung im Dunkelfeld bei stärkeren Vergrößerungen ist deshalb mit einer solchen Einrichtung manchmal recht anstrengend.

Weiterhin empfiehlt es sich, in der Fernrohrlupe, mit der man das Bild durch die Austrittspupille beobachtet, neben der Skala oder dem Fadenkreuz zur scharfen Einstellung auch noch ein Viereck anzubringen, das die Größe der Nutzfläche im Verhältnis zum mikroskopischen Sehfeld zeigt. Man soll darauf achten, daß das Objekt innerhalb dieses viereckigen Feldes verbleibt, denn nur dieses wird am Film abgebildet, der übrige Teil des bei einem etwa 20fachen Okularverhältnismaßig großen Gesichtsfeldes kommt für die Aufnahme nicht weiter in Betracht. Ist das Beobachtungsrohr — wie beim „Phoku“ — nur auf Homale berechnet, so muß die Einstellenebene der Aufnahmekamera in einem genau festgelegten Abstand<sup>1</sup> zur Austrittspupille des Mikroskops stehen (vgl. S. 168), und die Vergrößerung durch die Fernrohrlupe muß selbstverständlich, wie bei jeder seitlichen Beobachtung, derjenigen an der Filmfläche streng kongruent sein. Man achte deshalb bei den Aufnahmen sehr genau darauf, daß die Marken, welche in den Fernrohrlupen zur Kontrolle der vorschriftsmäßigen Einstellung dienen (s. S. 169), haarscharf erscheinen.

Die Einstellung des Präparats und die scharfe Einstellung des Bildes gestaltet sich mit einer guten seitlichen Beobachtung am Mikroskop ziemlich einfach und sicher, wenn die Fernrohrlupe der seitlichen Beobachtung dem Auge des Beobachters richtig angepaßt ist. Man stellt erst durch die Fernrohrlupe das Präparat scharf ein, wobei man trotz der intensiven Beleuchtung in einem angenehmen, nicht zu grellen Sehfeld arbeiten kann. Hat man keine Beobachtungseinrichtung am Mikroskop, wo die versilberte Prismenfläche nur einen geringen Teil der Beleuchtungsstrahlen in die Fernrohrlupe lenkt, sondern muß man, wie z. B. beim Apparat von H. ROSENBERGER und ähnlichen Einrichtungen, direkt in das Mikroskop hineinschauen, so muß man natürlich entweder dem Okular eine Rauchglasscheibe aufsetzen (was für die scharfe Einstellung feiner Strukturen nicht ganz geeignet ist) oder statt der lichtstarken Beleuchtungseinrichtung eine Hilfslampe für die subjektive Einstellung benutzen. Ist das Präparat eingestellt, so senkt man die Kamera bis zur vorgeschriebenen Entfernung auf das obere Ende des Mikroskops und stellt die lichtdichte Verbindung her. Jetzt empfiehlt es sich, die Bildscharfe und vor allem die Lichtstärke auch am Film zu prüfen. Man öffnet also das Beobachtungsfensterchen und dreht so lange an der Kurbel, bis durch den offenen Blendensektor Licht auf das Filmband fällt. Jetzt kann mit freiem Auge oder mit der Einstelllupe die Bildscharfe am Film beurteilt und — wenn nötig — noch durch Fokussieren verbessert werden. Die Beurteilung, wieweit die Helligkeit des Bildes, die man am Beobachtungsfenster wahrnimmt, für eine bestimmte Auf-

<sup>1</sup> Diesen vorgeschriebenen Abstand, in welchem das Bildfenster zur Austrittspupille oder, noch praktischer, zur unteren Fläche der Lichtschutzmanschette eingestellt werden soll, erfährt man am besten von dem optischen Werk, von dem man die Beobachtungsvorrichtung bezieht.



nahmefrequenz ausreicht, kann nur nach einiger Übung und Erfahrung richtig erfolgen

**177. Die Probeaufnahmen.** Dafür wie auch für die endgültige Prüfung der ganzen optischen Einrichtung müssen Probeaufnahmen angefertigt werden, die man erzielt, indem man 1—2 Sekunden lang den Film laufen läßt. Je nach der Dauer der Probeaufnahme und der Aufnahmefrequenz erhält man einen kürzeren oder längeren Filmstreifen, den man gleich in der Dunkelkammer entwickeln muß. Meist pflegt man nur das Ende des so belichteten Streifens zu entwickeln, d. h. 4—5 Einzelbilder, aus denen man die Gradation schon beurteilen kann. Zur Prüfung des entwickelten Negativs benutzt man vorteilhaft eine 4—5mal vergrößende Lupe. Ist die Probeaufnahme gut, so kann man mit der eigentlichen Aufnahme beginnen. Zeigt aber die Probeaufnahme ein zu hartes oder zu weiches Bild, so wird man der Entwicklungs- und Kopieranstalt, der man die Entwicklung der belichteten Filmrolle und die Herstellung von Kopien überläßt, die entsprechenden Weisungen erteilen. Falls eine ausgesprochene Über- oder Unterbelichtung vorliegt, muß die Helligkeit der Lichtquelle oder die Aufnahmefrequenz herabgesetzt bzw. gesteigert werden. Die Beleuchtung läßt sich natürlich viel leichter dämpfen als steigern. Wo die Helligkeit der Lampe nicht weiter gesteigert werden kann, bleibt natürlich nichts anderes übrig, als die Aufnahmefrequenz zu verringern, was bei mikrokineematographischen Aufnahmen meistens ohne Schaden durchzuführen ist.

**178. Die Zeiträfferaufnahmen.** Zum Teil recht verschieden von der Aufnahmetechnik, die für Normalfrequenzen in dem Vorangegangenen geschildert wurde, erfolgen die Aufnahmen, die man als Zeiträfferaufnahmen zu bezeichnen pflegt (s. S. 354). In der Mikrokineematographie haben solche Aufnahmen eine ganz besondere Bedeutung, weil sie für langsam fortschreitende Vorgänge (Zell- und Gewebewachstum, Zellteilung, embryonale Entwicklung) die geeignetste Forschungsmethode mit den anschaulichsten Resultaten bedeuten. In der Hauptsache unterscheiden sich die Zeiträfferaufnahmen von den Normalaufnahmen nur darin, daß man zum Betreiben des Kurbelkastens die Einseiwelle und meistens auch noch einen elektrisch betriebenen Zeiträffer (Abb. 232) verwendet. Da bei einer Umdrehung der Einseiwelle nur ein Bild entsteht, kann man die Drehung mit der Hand oder automatisch auf bestimmte Zeiten einregeln, wobei stets darauf zu achten ist, daß die Belichtung bei stehendem Film, d. h. in den Pausen zwischen zwei Drehungen, erfolgt. Vom Tempo der Drehung hängt also sowohl der Zeitabstand zwischen den Teilaufnahmen wie auch die Belichtungszeit ab. Dreht man die Kurbel der Einseiwelle mit der Hand, so muß zuerst die Kurbelstellung ermittelt werden, bei der die Verschlussscheibe das Bildfenster vollständig verdeckt. Nun kann man von Abblendung zu Abblendung gleichmäßig und kontinuierlich drehen, z. B. einmal in 10 Sekunden oder in 1 Minute usw., wobei man eine dem Tempo der Drehung angemessene kürzere oder längere Belichtung erhält. Bequemer und verlässlicher arbeitet man jedoch, wenn man diskontinuierlich dreht, d. h. zwischen zwei Abblendungen so lange mit dem Drehen aussetzt, als es für eine richtige (längere) Belichtung nötig ist. Man muß dazu natürlich auch genau die Kurbelstellung kennen, bei welcher der offene Sektor der Blende vor dem Fenster steht. Werden zwischen zwei Teilbildern längere Pausen eingeschaltet, so ist es oft schwer oder sogar unmöglich, jedesmal wieder mit der gleichen Geschwindigkeit die Kurbel zu drehen. In solchen Fällen empfiehlt sich das folgende Verfahren. Man rüstet die Aufnahmekamera mit einem Momentverschluß aus. Ist das Zeitintervall zwischen zwei Teilaufnahmen verstrichen, so dreht man an der Kurbel so lange,

bis der offene Sektor im Bildfenster erscheint. Dann betätigt man den Momentverschluß und beleuchtet nach der Zeit, auf die man diesen eingestellt hat. Nach erfolgter Belichtung dreht man die Kurbel weiter, bis der Film mit einer Bildhöhe weitergerückt ist, wartet die festgesetzte Zeitspanne zwischen den Aufnahmen ab und beleuchtet wieder die nächste Aufnahme usw. Dauert die Zeitrafferaufnahme länger, so wird man am besten einen automatisch funktionierenden Apparat, den Zeitraffer, benutzen, der in bestimmten Zeitabständen den Filmtransport in Gang setzt und eine vollkommen gleichmäßige Belichtung der Teilaufnahmen gewährt. Da die biologischen Vorgänge, von denen man Zeitrafferaufnahmen zu erzeugen pflegt, im allgemeinen mehrere Stunden oder Tage lang dauern, arbeitet man in der Mikrokineematographie fast ausschließlich mit

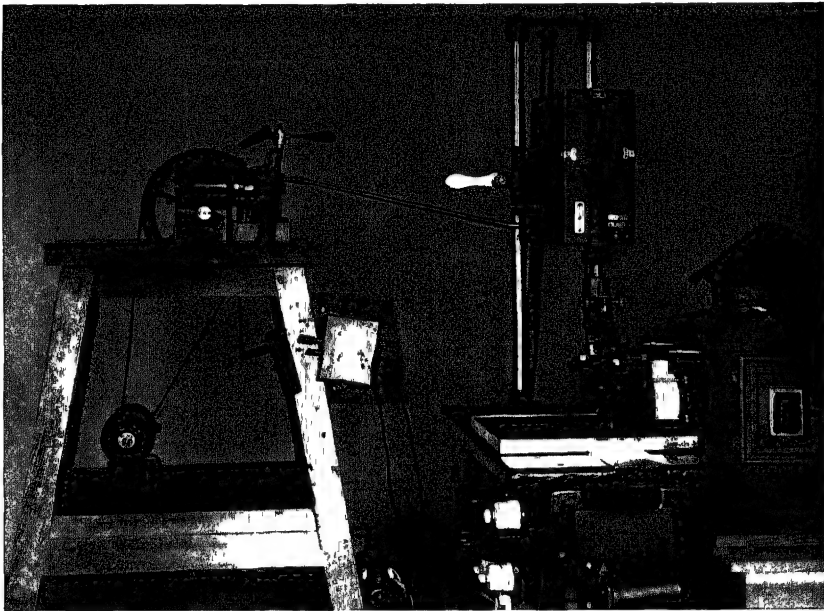


Abb. 232 Zeitrafferanordnung mit einem Zeitraffer von DEBRIL und dem mikrokineematographischen Apparat der Firma LENEMANN (Aus K. HOFER [1, Abb. 134, S. 467])

automatischen Zeitraffern, von denen mehrere gut bewahnte Typen im Handel erhältlich sind (z. B. der Zeitraffer von DEBRIL oder von PATHE). Die erste Konstruktion eines Zeitraffers stammt von J. RIESS (1), der 1919 im Institut MAREY die erste Zeitrafferaufnahme von der Befruchtung und Zellteilung gemacht hat. Fast zur gleichen Zeit haben CHEVRETON und VLÉS (1) im Laboratorium von FRANÇOIS-FRANCK einen anderen Zeitraffer gebaut, und seither sind dann mehrere Konstruktionen entstanden, bei denen entweder eine Kontaktuhr oder ein Foucault'scher Regulator für die automatische Belichtung oder den Filmtransport sorgt. Bei anderen Typen, wie z. B. bei dem von ATHANASIU benutzten Zeitraffer, wird die Aufnahmefrequenz durch die Wirkung eines Elektromagneten geregelt. In neuerer Zeit haben P. MEYER, H. ROSENBERGER und L. GRAPPE gut bewahnte Konstruktionen für Zeitraffer angegeben, bei denen die automatische Regulierung ebenfalls entweder mit einem Elektromagneten und einer Wasserwippe (wie beim Apparat von ATHANASIU) oder mit einer Kontaktuhr erfolgt. Der Zeitraffer von L. GRAPPE (1), mit dem er die ganze Entwicklung

des Hühnchenembryos fortlaufend aufgenommen hat, arbeitet mehrere Tage ununterbrochen vollkommen einwandfrei.

Für die naturgetreue Wiedergabe der Form und Ortsveränderungen ist es besonders wichtig, daß man das Tempo der Zeitrafferaufnahmen richtig bestimmt, und dieses mit der Vorführungsfrequenz in Einklang bringt. Der häufigste Fehler wissenschaftlicher Zeitrafferaufnahmen (so z. B. auch der sonst mustergültigen Aufnahmen CANTIS von Gewebekulturen) ist, daß man Vorgänge, die mehrere Stunden dauern, in wenige Minuten zusammenfaßt, wobei der Vorgang leicht ins Groteske verzerrt wird und statt einer anschaulichen Rekonstruktion des Vorganges ein schon an eine Trickaufnahme erinnerndes Bild des Vorgangs geboten wird. Man soll sich hüten, eine solche in der Natur nie vorkommende, übertrieben beschleunigte Wiedergabe von zytologischen oder embryologischen Vorgängen vorzuführen, so sensationell auch gerade solche auf die Zuschauer wirken mögen, denn die Vorstellungen über den biologischen Vorgang, die man daraus gewinnt, sind oft gänzlich falsch und können dann zu ebensolchen falschen Folgerungen führen. Wird z. B. eine Zellteilung, die 4—6 Stunden dauert, innerhalb 3 Minuten vorgeführt, so erhält man Erscheinungen im Bild, als ob das Protoplasma eine siedende Flüssigkeit wäre und von gewaltigen inneren Kräften in zwei Hälften auseinandergezerrt wurde. Daß dieses Bild nicht naturgetreu sein kann, sondern durch die übertrieben beschleunigte Vorführung zu einer Trickaufnahme gestaltet wurde, wird ein jeder erkennen, der die Vorgänge der Zellteilung an dem Objekt selbst beobachtet hat. Die historische Rekonstruktion von biologischen Vorgängen mittels der Zeitrafferaufnahmen erfüllt ihren Zweck vollkommen, wenn sie den mit dem Auge sonst in seinem Verlauf nicht verfolgbaren Vorgang als dynamische Erscheinung eben wahrnehmbar gestaltet. Eine weitere Steigerung oder Übertreibung der Geschwindigkeit wird in vielen Fällen dem wissenschaftlichen Inhalt der Aufnahme nur schaden. Es fragt sich aber, wie man die Aufnahme- und Vorführungsgeschwindigkeit bei solchen Aufnahmen miteinander in Einklang bringen soll. Als Ausgangspunkt halte man an der Angabe fest, daß die normale Vorführungsgeschwindigkeit 20 Bilder in der Sekunde und 1200 Bilder in der Minute bedeutet (s. S. 354). Hat man eine Vorführung von 10 Minuten Dauer, so werden 12000 Bilder hintereinander abgerollt. Diese Anzahl von Bildern muß man also auf die Zeitspanne verteilen, in welcher man den biologischen Vorgang mit dem Zeitraffer aufnehmen will. Angenommen, daß der aufzunehmende Vorgang 10 Stunden dauert (eine für Zellteilungsvorgänge z. B. nicht ungewöhnlich lange Zeitdauer), so erhält man als Aufnahmegeschwindigkeit 18 Belichtungen in der Minute oder 1 Aufnahme in jeder dritten Sekunde. In diesem Fall verhält sich die Aufnahmegeschwindigkeit zur Vorführungsgeschwindigkeit wie 1 ( $3 \times 20 = 60$ ). Bei diesem und noch bis zu einem Verhältnis von 1:140 (jede 7 Sekunde 1 Aufnahme) wird man nie die Verzerrung des abgebildeten Vorgangs befürchten müssen. Das kinematographische Bild wird, falls auch die sonstigen Bedingungen erfüllt sind, eine naturgetreue und anschauliche Wiedergabe des biologischen Geschehens bieten. Dauert der Vorgang länger, so muß man vor allen Dingen eine längere Vorführungszeit in Erwägung ziehen. Aus dem obigen Beispiel ist leicht ersichtlich, daß man zur kinematographischen Vorführung selbst von Vorgängen, die 36 Stunden — also etwa  $1\frac{1}{2}$  Tage — dauern, keine längeren Vorführungszeiten braucht, als man sie in den Rahmen eines einstündigen Vortrags einfügen konnte. Es sei hier auch betont, daß bei wissenschaftlichen Vorführungen von mikrokmematographischen Zeitrafferaufnahmen der Grundsatz gelten soll, nicht auf Kosten der naturgetreuen Wiedergabe an Zeit sparen und die Vorführungsgeschwindigkeit übertrieben steigern zu wollen. Allerdings wird man des öfteren lange Zeitrafferaufnahmen

auch bei einer viel kürzeren Vorführungszeit abrollen lassen können, als es dem Verhältnis 1 : 60 oder 1 : 140 entspricht. Gerade bei biologischen Vorgängen des Orts- oder Formwechsels, die mehrere Stunden oder Tage dauern, verläuft der Vorgang nur selten ganz gleichmäßig, und es gibt mehrere längere oder kürzere Abschnitte, wo das biologische System fast vollkommen in Ruhe ist. In solchen Ruheperioden — die man natürlich im voraus genau kennen muß — kommt man dann mit größeren Zeitabständen und weniger Aufnahmen aus.

Arbeitet man in solchen Fällen auch mit verhältnismäßig langen Unterbrechungen (z. B. eine Belichtung in jeder 5 oder jeder 10 Minute), so darf man nie in dem festgesetzten Zeitintervall nur eine Aufnahme machen, sondern stets zwei oder drei hintereinander. Die Zeitrafferaufnahmen wirken bei der Vorführung sehr unruhig und unausgeglich, wenn die Teilbilder in größeren Zeitintervallen einzeln aufeinanderfolgen. Die Einheiten der Aufnahmen, aus denen das Kinobild zusammengerafft wird, sollen mindestens aus zwei Teilbildern, besser noch aus drei oder fünf solchen, bestehen. Zu den Aufnahmen, bei denen also in Intervallen von  $n$ -Sekunden oder Minuten zwei bis drei oder mehrere Teilbilder in der Sekunde erzeugt werden, muß natürlich für eine entsprechende Koppelung des Zeitraffers mit dem Greifmechanismus gesorgt werden. Selbstverständlich wirken bei der Vorführung Zeitrafferaufnahmen, die mit größeren Zeitintervallen, z. B. mit je 5 Minuten erzielt wurden, stets unausgeglich. In vielen Fällen wird aber die Verkürzung der Perioden, in denen das Objekt keine Veränderungen zeigt, ohne schädliche Folgen bleiben, und man wird also auf diese Weise sowohl Filmmaterial bei den Aufnahmen wie Zeit bei der Vorführung sparen.

Die Zeitrafferaufnahmen mit größeren Intervallen führen uns zu einer anderen Art von Kinoaufnahmen hinüber, die man als Periodenaufnahmen bezeichnen kann, indem sie nur bestimmte Perioden eines Vorgangs festhalten und diese dann zusammenhängend vorführen. Von den übrigen Zeitrafferaufnahmen unterscheiden sie sich nur dadurch, daß die Zeitintervalle zwischen den Teilaufnahmen größer sind, z. B. 10, 15, 30 Minuten usw. Will man z. B. die Lebensweise von Stentoren in einem Film darstellen, so wird man 1—2 Minuten lang ihr freies Schwimmen in dem Wassertropfen filmen, dann mit der Aufnahme aussetzen, bis sie sich irgendwo festgesetzt haben, und wieder 1—2 Minuten lang das Ausstrecken des trompetenförmigen Zellkörpers, das Schlagen der Zilien an der adoralen Spirale oder das plötzliche Zusammenziehen des kontraktilen Körpers aufnehmen. Je nachdem, welche Momente des Protistenlebens noch im Film festgehalten werden sollen, wird man auf weitere günstige Zeitpunkte warten, bis die Vorgänge des Beutefangs, der Nahrungsaufnahme oder der Teilung in Erscheinung treten. So wird man charakteristische Ausschnitte aus dem Leben des Objekts festhalten und fortlaufend vorführen können, ohne eigentliche Zeitrafferaufnahmen machen zu müssen. Genau in gleichen Zeitintervallen fortlaufend durchgeführte Zeitrafferaufnahmen sind nur bei der Mikrokineographie von Wachstumsvorgängen unentbehrlich und müssen dann oft mehrere Tage hindurch ununterbrochen fortgesetzt werden.

**179. Die Zeitlupe (Zeitdehneraufnahmen)** Umgekehrt wie bei den Zeitrafferaufnahmen wird die Aufnahme Frequenz bei den Zeitlupenaufnahmen stark gesteigert, so daß die Bildreihe, welche man bei der normalen Vorführungsgeschwindigkeit abrollen sieht, einen um so stärker verlangsamten Verlauf des Vorganges zeigen wird, je größer die Aufnahmegeschwindigkeit war im Vergleich zur Vorführungsgeschwindigkeit. Erzielt man statt 18 Bilder in der Sekunde 180, so wird man bei der Vorführung den Vorgang, der z. B. 1 Minute gedauert hat, auf 10 Minuten ausdehnen. Zur Erzielung so hoher Frequenzen ist man auf besondere Konstruktionen auf die Hochfrequenzapparate angewiesen (Abb. 221

u 233) Der Hauptunterschied der normalen Aufnahmetechnik gegenüber besteht hier darin, daß man zur Erzeugung der hohen Frequenzen (100—250 in der Sek.) auf die Hochfrequenzapparate angewiesen ist, Grande-Vitesse-Kamera, DEBRIE, Paris, Hochfrequenzkamera, Askania-Werke, ERNEMANN, Dresden usw.)<sup>1</sup> Zu Zeitlupenaufnahmen von mikrobiologischen Objekten genügt schon vollkommen eine Aufnahme Frequenz von 100—150 Bildern in der Sekunde, wie man sie z. B. mit der Hochfrequenzkamera der Hoferschen Einrichtung



Abb 233 Hochfrequenzkamera („Grande vitesse DEBRIE“) in waagerechter Stellung mit elektrischer Uhr zur Zeitmarkierung (Aus K. B. R. I. I. Abb 132, S. 465)

(Askania-Werke) erzielen kann. Die Methodik solcher Zeitlupenaufnahmen hat O. STORCH (I) ausgearbeitet, wobei er die Hochfrequenzkamera der Askania-Werke benutzt hat. Die Kamera wurde hier mit waagerechter Achse an der Wand befestigt und das Mikroskop mit der Beleuchtungseinrichtung auf einem fahrbaren Tisch vor der Kamera aufgestellt. Es konnten sowohl mit waagerechtem als auch mit senkrechtem Mikroskop (bei Zwischenschaltung eines Umkehrprismas) Aufnahmen bei einer Frequenz von 100—120 Bildern in der Sekunde erzielt werden. Die Belichtungszeit war dabei  $\frac{1}{3600}$  Sekunde, und trotz dieser außerordentlich kurzen Belichtungszeit waren die Bilder scharf und kontrastreich. Allerdings handelte es sich dabei um kleine plank-

tonische Kriese, die schon mit schwachen anastigmatischen Objektiven (Mikropolaren der Firma REICHERT, Wien) abgebildet werden konnten. Selbst bei solchen lichtstarken Objektiven — und bei stärkeren Objektiven natürlich noch mehr — braucht man Lichtquellen von der größten erreichbaren Intensität. Bei einer Vorführungsgeschwindigkeit von 16 Bildern in der Sekunde hat O. STORCH eine  $7\frac{1}{2}$ -fache Verlangsamung erzielt, bei größerer Aufnahme Frequenz (bis 150) und noch etwas mehr verlangsamter Vorführungsgeschwindigkeit kann man aber sogar eine zehnfache Zeitdehnung erzielen. Der Zeitdehnung wird jedoch bald eine Grenze gesetzt durch die sinkende Belichtungszeit einerseits und anderer-

<sup>1</sup> E. HUGUENARD und A. MANGAN (I) haben mit einer Aufnahmekamera von 2000—3000 Belichtungen in der Sekunde gearbeitet und so die bisher größte Aufnahme Frequenz erzielt.

seits durch die Tatsache, daß bei starkerer Verminderung der Vorfuhrungsfrequenz — etwa bei 10—12 Bildern in der Sekunde — das Kinobild in die einzelnen Teilaufnahmen zerfällt

Sowohl die Zeitraffer wie die Zeitlupenaufnahmen gewinnen stark an Wirkung bei der Vorfuhrung, wenn sie mit einer Zeitmarkierung versehen sind, an der man die Dauer des dargestellten Vorgangs ablesen kann. Zu dieser Zeitmarkierung wird das Zifferblatt einer Uhr verkleinert in der oberen rechten Ecke der Teilbilder mit aufgenommen (Abb 234). Man stellt die Uhr auf einen Ausleger des Kameragestells oder auf einen entsprechenden Halter so, daß von ihr Lichtstrahlen in eine seitliche Öffnung der Kamera entfallen sollen. Vermittels eines Prismas und einer sich hier befindlichen Linse werden die Strahlen zu dem verkleinerten Bild am Filmband vereinigt. Man muß natürlich dann für eine hinreichende Beleuchtung des Zifferblattes sorgen. Auch achte man darauf, daß bei längeren Zeitrafferaufnahmen das Zifferblatt den 24stündigen ganzen Tag und nicht nur den 12stündigen Halbtage anzeigen soll.

Auch andere Arten der Zeitmarkierung sind bekannt. So hat J. BULL (1) eine Zeitmarkierung mit einem kleinen Chronometerrad angegeben, dessen Zähne in Schattenbildern auf dem Filmband sichtbar werden. H. ROSENBERGER bringt die Zeitmarkierung auf dem Filmband bei höheren Aufnahme Frequenzen mit einer elektrisch angetriebenen Stimmgabel an (vgl. Abb 224).

#### 180. Die filmtechnische Behandlung der belichteten Filmrollen.

Die Entwicklung und die Herstellung der Kopien erfolgt am besten in einer verlässlichen Anstalt, die über die dazu nötige Einrichtung verfügt. Auch dem Mikrokineematographen wird es aber wesentliche Vorteile bieten, wenn er nicht nur über die Aufnahmetechnik, sondern auch über die weitere Behandlung des Filmmaterials eingehende Kenntnis besitzt. In kurzen Zügen geschildert, gestaltet sich die Fertigstellung der Kinobilder in den Anstalten folgendermaßen. Die belichteten Filmbänder werden auf Rahmen spiralförmig aufgewickelt und so in die Entwicklungstöße eingetaucht (Rahmenentwicklung). Vielfach wird statt der Rahmenentwicklung neuerdings das sog. Correx-Verfahren angewandt, wo man den belichteten Film nicht auf einem Rahmen, sondern auf einer Trommel mit einem Einlegeband aus Zelluloid aufrollt, entwickelt, fixiert und wässert. Das Zelluloidband trägt kleine Knöpfchen, die die Windungen des Films auseinanderhalten und so das Eindringen der Flüssigkeit zwischen den Windungen ermöglichen. Das Correx-Verfahren erfordert einen kleineren Entwicklungsraum und auch geringere Mengen an Flüssigkeiten, was bei kinematographischen Aufnahmen auf Forschungsreisen von großem Vorteil ist. Werden die Filme auf Rahmen entwickelt, so können sich an den oberen Umschlagstellen Luftblasen ansammeln, die durch Klopfen entfernt werden müssen, da sie sonst am Negativ weiße Flecken verursachen. Nach der nötigen Entwicklungsdauer wird die Entwicklung in einem Eisessigbad prompt unterbrochen und dann wird ausgefixiert. Nach vollendeter Fixierung werden die Filme in fließendem Wasser gewaschen und in einem staubfreien Trockenraum auf rotierenden Holztrommeln getrocknet, wobei sie zwischen feuchtem Leder noch poliert werden. Das

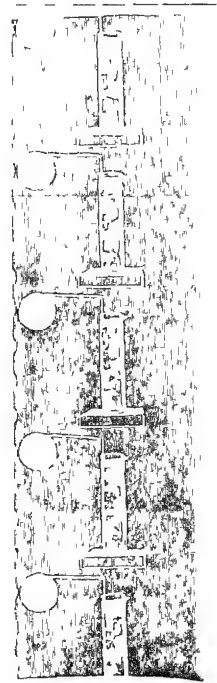


Abb 234 Zeitlupennegativ mit Zeitmarkierung (Uhr)  
(Ausk. HÖRER [7, Abb 133  
S. 466])

Positiv wird mit Belichtungsmaschinen hergestellt, wobei Negativ- und Positivfilm Schicht an Schicht zusammengepreßt vor einem Bildfenster abrollen und durch eine elektrische Lampe belichtet werden. Die Geschwindigkeit des Abrollens ist der Belichtungszeit angepaßt und automatisch reguliert. F. SCHEMINZKY hat, wie bereits erwähnt, einen einfachen Kopierapparat für Schmalfilme bauen lassen, der mit geringen Abänderungen auch für kürzere Normalfilmaufnahmen zu verwenden wäre.

Enthält die Filmrolle verschiedene Aufnahmen, so ist es zweckmäßig, durch Lochung oder Markierung Trennungslinien anzubringen, um die einzelnen zusammengehörenden Bildreihen voneinander abzugrenzen, damit sie in der Entwicklungsanstalt auseinandergetrennt und den verschiedenen Belichtungen entsprechend einzeln behandelt werden. Bei jeder Aufnahmekamera ist zur Markierung des Filmbandes eine eigene Vorrichtung vorhanden. Ist die Filmrolle durch Trennungsstiche nicht in einzelne Abschnitte geteilt, so wird die ganze Filmrolle, z. B. 60 m Film, auf einem Rahmen aufgewickelt und auf einmal behandelt. Daß bei einer Aufnahmereihe, wo man z. B. mit verschiedenen Vergrößerungen gearbeitet hat, das gemeinsame Entwickeln für einen Teil der Bilder unvorteilhaft ist, liegt auf der Hand. Es ist daher sehr zu empfehlen, durch Markierung die unter verschiedenen optischen Bedingungen erzielten Aufnahmen abzugrenzen und der Kopieranstalt die nötigen Anweisungen zur Entwicklung (ob einzelne Aufnahmen harter oder weicher entwickelt werden sollen usw.) genau anzugeben. Hat man z. B. Aufnahmen von Amoben vor, zunächst bei einer schwachen und dann bei einer starken Vergrößerung (im ersten Fall mit einem Kondensor ohne Frontlinse, im zweiten mit dem ganzen aplanatischen Kondensor), so wird man, bevor man mit der endgültigen Aufnahme beginnt, zwei Probebelichtungen machen müssen, eine bei der schwachen und eine bei der starken Vergrößerung. Die zweite Probebelichtung kann man allerdings auch dann vornehmen, wenn man die Aufnahme mit dem einen Objektiv beendet hat und nun mit einem anderen Objektiv oder mit einer anderen Beleuchtung die weiteren Aufnahmen ausführen will. Ein solches Verfahren ist jedoch stets umständlich und zeitraubend, da man die Kamera öffnen, das Filmband zerschneiden, den belichteten Filmstreifen in der Dunkelkammer verpacken und das Filmband in die Aufwickelkassette wieder einfadeln muß, um für die zweite Probebelichtung vom Ende des unbelichteten Filmbandes einen kurzen Streifen zu bekommen. Da es schon praktischer, die Probebelichtungen hintereinander durchzuführen, was — von Ausnahmefällen abgesehen — ohne Schwierigkeit geschehen kann, da der Plan, nach welchem die Aufnahmen hintereinander erfolgen sollen, schon zu Beginn der Aufnahme genau ausgearbeitet vorliegen muß.

Verzichtet man auf die Markierung der einzelnen unter verschiedenen optischen Bedingungen erfolgten Aufnahmen und auf die entsprechenden Angaben über die Entwicklung, so wird eine gute Entwicklungs- und Kopieranstalt zwar die Filmrollen im ganzen entwickeln, die etwaigen Ungleichmäßigkeiten in der Dichte des Negativfilms aber beim Kopieren auszugleichen trachten. Man wird also die Filmrollen je nach der Dichte des Negativs in mehrere Stücke zerschnitten zurückhalten mit den entsprechenden Rollen vom Positivfilm. Die schwarzen Stellen, die durch Überbelichtung bei der Einstellung oder durch Nebenlicht bei der Öffnung der Kassette am Film entstehen, werden schon in der Anstalt entfernt.

Die von der Anstalt zurückerhaltenen fertigen Negative und Positive muß man selbst durchprüfen (vgl. TH. FLORSHEIM [1]), zunächst, ob das ganze Material richtig zerschnitten wurde, dann, ob die Aufnahmen fehlerfrei genug sind<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Will man bei unsicheren Aufnahmen die Kosten der Kopie ersparen und drängt es mit der Fertigstellung des Films nicht, so ist es ratsam, erst den fertigen Negativ-

Weiß man, wieviel belichteter Film zur Verarbeitung verschickt wurde (die Menge des belichteten Films muß entweder nach der Länge oder nach dem Gewicht angegeben werden), so ist die Kontrolle nicht schwer, denn die Anstalt pflegt auch den Abfall an Film (nebenbelichtete und überbelichtete Stellen, Schwarzfilm) mitzuschicken. Man braucht also nur nachzuwiegen oder — da der Preis der filmtechnischen Behandlung nach Meterzahl berechnet wird — mit einer Filmmeßmaschine nachzumessen. Die Durchsicht des fertigen Filmmaterials nimmt man am besten in eigens dazu konstruierten Apparaten, z. B. beim Lytaklebetisch (Apparatenbau, Freiburg) vor. Erst überprüft man den Positivfilm und dann vergleicht man das Negativ mit ihm, indem man die zwei Filmstreifen Schicht an Schicht zusammenlegt. Die häufigsten Fehler sind 1. die schon erwähnten weißen Flecken, die von nicht entfernten Luftblasen in der Entwicklerlösung herrühren, 2. Wasserflecke, die durch anhaftende Tropfen entstehen können, wenn beim Trocknen die Polierung mangelhaft war, 3. Schlieren, die auf ungenügendes Wassern oder auf Verunreinigungen des Entwicklers zurückgeführt werden können, 4. Blitzfiguren, die durch elektrische Entladungen bei sehr trockenen Filmrollen auftreten können, infolge der Reibung beim Filmtransport in der Aufnahmekamera. Am häufigsten kommen jedoch Schrammen, Kratzer und ähnliche Schädigungen der Schicht vor, die von Staubteilchen verursacht werden, wenn das Bildfensterchen oder die Schicht des Films nicht vollkommen staubfrei sind. Wohl wird meistens das Bildfensterchen staubfrei gehalten, viel schwieriger ist es jedoch, dasselbe bei den Kassetten zu erreichen, die mit Samt lichtdicht gefuttert sind und daher nie ganz staubfrei sind, namentlich nicht das sog. Kassettenmaul, wo der Film aus der Kassette heraustritt.

Auch die Lochung (Perforation) des Filmbandes muß genau überprüft werden, denn oft wird diese entweder schon während der Aufnahme oder in der Anstalt beschädigt, und fehlt dann die Perforation auf einer längeren Strecke, so hat man bei der Vorführung erhebliche Schwierigkeiten.

Bei der Korrektur der Filme verfährt man mit dem Negativ und dem Positiv gleichartig, d. h. was am Negativ entfernt wurde, entfernt man ebenso auch im Positiv. Sind jedoch Fehler im Positiv vorhanden, die erst durch das Kopieren entstanden sind (Blitzfiguren, Schlieren, Flecke), so muß die Anstalt eine neue fehlerfreie Kopie liefern.

Nach Überprüfung der fertigen Filmstreifen müssen die Aufnahmen in der Reihenfolge zusammengeklebt werden, wie man sie vorzuführen wünscht. Dabei klebt man an beide Enden der Filmrolle ein Stück Abrollfilm („Schwanze“) aus Blankfilm und zwischen die einzelnen Aufnahmen ebenfalls Blankfilmstreifen oder, falls solche angefertigt wurden, die entsprechenden Textpositive ein. Zum Kleben der Filmstreifen verwendet man ein fertig erhältliches Klebemittel (z. B. Filmin u. a.), eine Klebelade, um die Filmenden zusammenzupressen, ein Schabemesser und ein Lineal oder eine kleine Messingplatte. Die Filmenden, die zusammengeklebt werden sollen, müssen erst von der Schicht befreit werden. Man schabt also mit dem Messerchen entweder die trockene oder aufgeweichte Schicht ab, quer zur Längsrichtung des Films, und schneidet dann mit einer Schere das Filmband so durch, daß ein 2—3 mm breiter, schichtfreier Saum übrigbleibt. Dann streicht man auf den Saum des einen Filmendes das Klebemittel und legt rasch das andere Filmende mit der Glanzseite nach

dem Film zur Überprüfung sich schicken zu lassen und dann, wenn dieser überprüft ist, eine oder mehrere Kopien zu bestellen. Allerdings können nur Geübtere aus dem Negativ die Güte der Aufnahme richtig beurteilen. Man pflegt daher meistens mit dem Negativ gleich eine Kopie, die sog. Musterkopie, zu bestellen und an dieser die Kontrolle der Aufnahmen durchzuführen.



oben darauf und preßt die zusammengekitteten Enden in die Klebelade. Falls das Abschaben der trockenen Schicht Schwierigkeiten bereitet, laßt man die Gelatine aufquellen, indem man das Lineal oder die Messingplatte bis zu der Stelle, von wo an die Schicht angefeuchtet werden soll, auf den Film legt, von hier aus die Schicht mit Wasser aufweicht und sie dann mit dem Messer oder einem Spatel abschabt. Beim Kleben der Streifen soll genau darauf geachtet werden, daß die Klebestelle nicht zu dick ist, da sonst beim Abrollen des Films hier Hindernisse entstehen, die bei Vorführungen eine Hemmung oder das Zerreißen des Filmbandes verursachen können. Man schneide also mit einer Schere alle vorspringenden Kanten und Ecken an der Klebestelle ab und Sorge auch dafür, daß alles überflüssige Klebemittel mit einem Lederlappen entfernt wird, bevor noch die Enden in der Klebelade zusammengepreßt werden. Es ist weiter vorteilhaft, so zu kleben, daß das bei der Projektion nachfolgende Filmende über dem vorangehenden liegt. Für den Mikrokmematographen kommt hauptsächlich das Zusammenkleben von fertigen Negativen oder Positiven in Betracht, was er bequem am Lytaklebetisch vornehmen kann, da dieser, wie schon sein Name zeigt, die dazu nötige Einrichtung enthält. Das umständliche Verfahren beim Zusammenkleben von unbelichteten oder belichteten und noch nicht entwickelten Filmstreifen, das in der Dunkelkammer vorgenommen werden muß, sollte lieber den Anstalten überlassen werden, von denen man die Filme bezieht, oder wo man sie entwickeln laßt.

**181. Die Überprüfung der Aufnahmen.** Die Filme, die man am Lytaklebetisch oder ähnlichen Vorrichtungen gesichtet und dann zusammengeklebt hat, können nach dieser ersten filmtechnischen Überprüfung mit den Fahnenkorrekturen verglichen werden, die man aus den Druckereien bekommt, nachdem ein Korrektor sie auf die größten Druckfehler schon durchgelesen hat. Eine weitere Korrektur, nämlich die Kontrolle des Filmbildes auf seinen Inhalt und seine optische Wirkung, muß erst jetzt erfolgen, indem man das Positiv mit einem Projektionsapparat vorführen laßt, wobei die Stellen, die noch storende Kopierfehler aufweisen oder irgendwie sonst ungünstig wirken, entfernt werden, soweit das ohne Schaden durchführbar ist. Bei der Projektion werden nämlich die Mängel der Aufnahme und vor allem die Fehler des Positivs deutlich sichtbar. Es laßt sich auch erst bei dieser Vorführung genauer beurteilen, ob die Regie der ganzen Aufnahme richtig getroffen wurde und die Vorgänge, die man im Film festhalten wollte, anschaulich und charakteristisch zum Ausdruck gelangen. Oft wird es sich herausstellen, daß man manche Momente viel zu lang, andere wiederum zu kurz aufgenommen hat. Bei jenen wird die Vorführung eintönig wirken, da längere Zeit nichts Wesentliches am Film vor sich geht, bei diesen wiederum werden die Zuschauer in den paar Sekunden, während der Vorgang sich am Film abspielt, die charakteristischen Erscheinungen gar nicht richtig bemerken können. Die Stellen, wo der Vorgang einen schleppenden Verlauf zeigt, kann man getrost kürzen, dabei wird das Kinobild an Wirkung nur gewinnen. Zu kurz geratene Aufnahmen wichtiger Momente laßt man mehrfach kopieren (als Dubletten) und fortlaufend kleben, damit man bei der Vorführung den Eindruck erwecke, als ob der Vorgang sich hintereinander mehrmals wiederholte. So haben dann die Zuschauer Zeit, ihre Aufmerksamkeit auf wesentliche Punkte des Kinobildes zu konzentrieren. Allerdings sei hier bemerkt, daß allzu kurz gediehene Vorgänge auch dann nicht deutlicher werden, wenn man sie in Dubletten mehrere Male hintereinander vorführt. Anders ist es, wenn der Vorgang normalerweise von sehr kurzer Dauer ist und nur nach öfterer Betrachtung die charakteristischen Momente in seinem Ablauf erkennen laßt. Es soll z. B. die Funktion der kontraktiven Vakuole einer Amöbe Proteus aufgenommen werden. Je nach dem biologischen Zustand der

Amöbe werden auch 2—3 Minuten vergehen, bis die kontraktile Vakuole in Funktion tritt. Die Entleerung der Vakuole vollzieht sich aber verhältnismäßig sehr schnell. Nun wird die Amöbe bei der Vorführung 2—3 Minuten lang, d. h. für eine ziemlich lange Projektionsdauer, auf dem Film sichtbar sein, ohne den Vorgang, auf den es ankommt, zu zeigen. Das braucht natürlich für die Wirkung des Kinobildes nicht unbedingt nachteilig zu sein. Wirkt es aber eintönig, so kann man den Film hier kürzen, die kurze Strecke aber, wo die Entleerung der Vakuole in Eileersung tritt, mehrmals kopieren.

Von solchen Korrekturen hängt vielfach die Wirkung ab, die man bei der Vorführung der Kinaufnahmen erzielt. Man scheue daher nicht die Zeit und die Mühe, die Musterkopie wiederholt vorführen zu lassen und an der Bildfolge oder der Anordnung der Aufnahme soviel als möglich zu verbessern. Bei Zeitraffer- und Zeitlupenaufnahmen läßt sich begreiflicherweise aus dem Film nichts oder nur wenig herauschneiden. Man kann dagegen bei der Probevorführung die Vorführungsgeschwindigkeit genau feststellen, bei welcher eine Zeitrafferaufnahme am besten wirkt. Falls die Aufnahme Frequenz der Aufnahmen nicht ganz richtig getroffen wurde (s. S. 380) und die Vorführung bei Normalfrequenz einen unnatürlich beschleunigten Verlauf zeigt, kann man mit geeigneten Projektionsapparaten die Vorführungsgeschwindigkeit etwas bremfen.

Hat man auf diese Weise Negativ und Positiv gleichartig durchkorrigiert, gekürzt und zusammengeklebt, so ist der Film zur Vorführung fertig. Man hebt das Negativ und die Kopie gesondert in dafür angefertigten Behältern aus Holz mit Zinklagen oder in Blechbüchsen auf. Beim Aufbewahren der Negative ist es vorteilhaft, die Schichtseite mit Streifen aus Seidenpapier zu bedecken und das Filmband so aufzurollen. Auf dem Blankfilm der „Schwänze“ kann man dann Datum, Inhalt, mikroskopisch-optische oder filmtechnische Angaben aufzeichnen bzw. wenn Protokolle über die Aufnahmen geführt werden — was in allen mikrokinematographischen Laboratorien systematisch erfolgen muß — die betreffenden Protokollnummern angeben. Die Filme müssen in einem trockenen Raum nicht nur feuersicher, sondern auch vor Wärme geschützt, aufbewahrt werden. Besitzt man eine größere Sammlung von Negativen und Vorführungsfilmen, so läßt man am besten eigene feuersichere Schränke für die Sammlung anfertigen.

**182. Der Plan der Aufnahmen (Drehmanuskript)** Zum Schluß sei ausdrücklich empfohlen, zu jeder wissenschaftlichen kinematographischen Aufnahme und ganz besonders zu den mikrokinematographischen einen Plan bis ins feinste auszuarbeiten, wo die Linsensolgen, die Beleuchtungshagen (Hellfeld oder Dunkelfeld, Stromstärke, Lichtfilter, Blendenöffnungen usw.), die Aufnahme Frequenz und die Dauer der Aufnahme auf Grund von früheren Erfahrungen oder vorangehenden richtigen „Proben“ mit dem Objekt aufgezeichnet sind. Oft wird man die Aufnahmen in mehrere Akte einteilen müssen und zwischen den einzelnen Akten die Linsensolge, das Gesichtsfeld oder die Versuchsanordnung wechseln. Die Schwierigkeiten der mikrokinematographischen Aufnahmen sind nur zum Teil optischer oder filmtechnischer Natur, zum Teil sind sie psychologisch bedingt dadurch, daß man im Moment, wo der Film zu laufen beginnt, von einer gewissen „Spannung“ befallen wird, und bis man diese durch Gewöhnung nicht verloren hat, stets etwas hastig arbeitet. Dieses psychische Moment spielt natürlich bei Aufnahmen von den im mikroskopischen Gesichtsfeld ausgeführten Versuchen eine größere Rolle. vielfach führt es jedoch auch bei anderen Aufnahmen, wo der Forscher nur das Bild zu kontrollieren hat, dazu, daß man die Aufnahmedauer zu kurz wählt. Aufnahmen mit kürzerer Vorführungszeit als 1,5 Minute lassen die Zuschauer meistens unbefriedigt. Diese Gesichtspunkte und dementsprechend auch die Filmänge zu den einzelnen Aufnahmen sollen

also im Plan stets berücksichtigt werden. Sehr wichtig ist ferner, alle Hilfsapparate, die man während der Aufnahmen zur Unterbringung der Objekte oder zur Ausführung bestimmter Versuche benötigt (Heizkasten für die Gewebekulturen, Mikrobehälter für Protisten und Planktontiere mit oder ohne Zirkulation, Mikromanipulator usw.) vorerst genau zu prüfen und die Maßnahmen, die man bei ihrer Anwendung einhalten soll, im Plan aufzuzeichnen.

Die glatte Durchführung eines gut getroffenen Planes ist natürlich dann am besten gesichert, wenn man mit einer eingeübten Hilfskraft zusammen arbeiten kann, die nicht allein die Kinokamera bedienen, sondern auch das Bild am Filmband prüfen und die Beleuchtung regeln muß. Bei schwierigen Aufnahmen, wie z. B. bei Zelloperationen und ähnlichen Versuchen im mikroskopischen Sehfeld, wo der Forscher mit der Ausführung des Versuchs voll beschäftigt ist, wird es einen großen Vorteil bedeuten, wenn auch eine dritte Person noch bei der Aufnahme mitwirkt und das mikroskopische Bild ständig scharf einstellt. Für solche Aufnahmen zu dritt, wie sie im mikrokineamatographischen Laboratorium der ZEISS-Werke bei der erstmaligen Verfilmung von mikrobiologischen Zelloperationen unter persönlicher Leitung von H. SIEDENTOPF stattgefunden haben (1922), war die seitliche Beobachtung mit einem Doppelokular ausgerüstet. In dem einen Okular konnte der Experimentator die Ausführung der Versuche verfolgen, in dem anderen aber der Mitarbeiter das mikroskopische Bild in der gewünschten Schärfe einstellen. Währenddessen hat ein zweiter Mitarbeiter die Aufnahmekamera bedient und das Bild im Beobachtungsfenster von Zeit zu Zeit geprüft.

## D. Die Mikrophotographie der gefärbten Dauerpräparate.

(Vgl. zusammenfassende Darstellung bei H. PETERSEN [6].)

**183. Die optischen und graphischen Eigenschaften der Objekte.** Unter den Objekten der mikroskopischen Forschung werden den Mikrophotographen am häufigsten die gefärbten Dauerpräparate beschäftigt. Aus dem, was über die Wirkung der mikrotechnischen Behandlung auf das mikroskopische Bild an früheren Stellen schon angeführt wurde (s. S. 25 u. 111), ist es verständlich, daß die scharfe Abbildung der Zellstrukturen leichter an solchen Präparaten gelingt, die gehärtet, elektiv gefärbt und in einem vollkommen durchsichtigen Medium eingeschlossen sind, als bei frischen oder lebenden Objekten (vgl. Abb. 235). Aus diesem Grunde waren gefärbte Schnittpräparate von jeher bevorzugt, wenn es sich darum handelte, die Leistungsfähigkeit der Mikrophotographie vorzuführen. Sie eignen sich neben den mikroskopischen Testpräparaten aus Diatomeenschalen tatsächlich am besten zur Prüfung der optischen Eigenschaften einer mikrophotographischen Einrichtung, da man von ihnen die scharfsten, hellsten und deutlichsten Bilder erzeugen kann. Es sei jedoch gleich hier hervorgehoben, daß diese Eignung zur mikrophotographischen Arbeit nicht unmittelbar mit der Färbung als solcher, d. h. nicht mit den im Präparat subjektiv bemerkbaren Farbenunterschieden zusammenhängt, sondern der ganzen mikrotechnischen Behandlung zu verdanken ist, welcher die Präparate von der Fixierung bis zum Eindecken unterworfen sind. Für die subjektive Beobachtung haben natürlich die Farbenunterschiede im Präparat eine hervorragende Bedeutung. In der Schwarz-Weiß-Photographie, auf die man in der Mehrzahl der Fälle angewiesen ist, werden jedoch die Farbenunterschiede gar nicht wiedergegeben sein. Wie PETERSEN (4) es klar erblickt und betont hat, kommt es auch bei den gefärbten Objekten nur darauf an, wieweit man durch die Färbung der Struk-

turen ihre graphische Wirkung heben kann. Von farbenphotographischen Aufnahmen abgesehen, handelt es sich also nicht um die Wiedergabe des Farben-

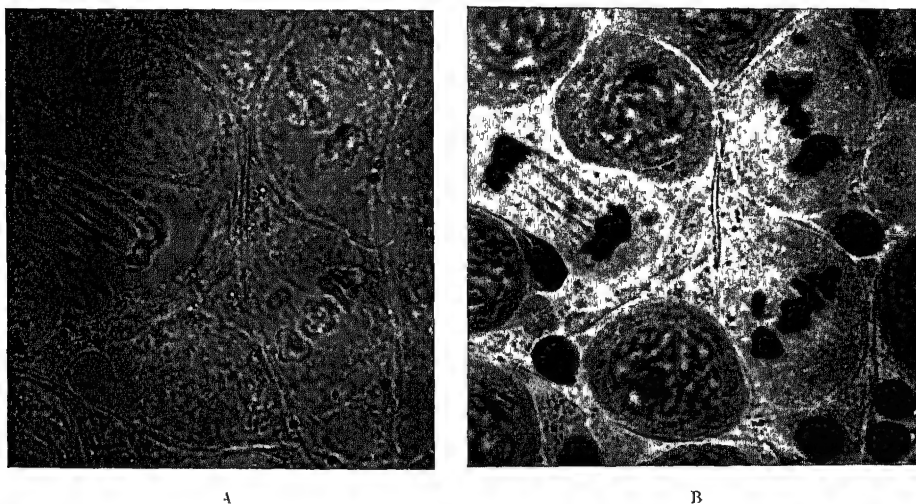


Abb 235 Ausstrichpräparat von den Samenzellen einer Heuschrecke (*Stenobothrus lineatus*)  
A Lebende Zellen (zum Teil in Teilung begriffen), B Dieselbe Stelle nach Fixierung und Färbung  
Vergr. 680fach (Aus K. BFLaß [6], Abb. 4 u. 5.)

bildes, aus dem der Forscher seine Beobachtungen schöpft, sondern um die schärfere Zeichnung und bessere Kontrastwirkung der Strukturfeinheiten, welche die Folge einer mikrotechnischen Färbung sind (Abb 236). Die schärfere Zeichnung wird dadurch begünstigt, daß als Vorbereitung zur Färbung die Strukturen fixiert und gehärtet werden (s. S. 25). In diesem Zustand binden sie die Farbstoffe an sich, so daß sie sich von der Umgebung klar abheben. Sie sind dann auch auf der Mattscheibe oder Spiegelglasscheibe mit der Einstelllupe weit deutlicher sichtbar als in ungefärbtem Zustand

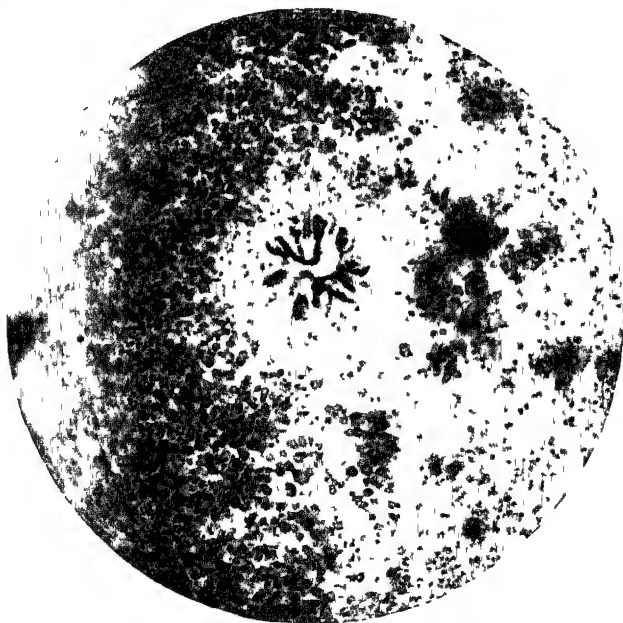


Abb 236 Gefärbtes Schnittpräparat Axoball-L1 weiblicher Vorkern in der zweiten Reibteilung. Teilweise mit Chromosomen aus dem einen Spindelpol. Schnittstärke 7,5  $\mu$ . Färbung: Hammitin-Eosin. Obj. Zeiss, Apochei 40fach, num. Ap. 0,95, Homal. III, Kammerlinke 42 cm

und man kann das Bild auch in der photographischen Einstellenebene mit der denkbar größten Schärfe einstellen. Dazu kommt noch, daß man die Schichtdicke

der Präparate genau der Tiefenschärfe des abbildenden Systems anpassen (s. S. 33) und so dünne Schnitte oder Ausstrichpräparate herstellen kann, die selbst bei starken Vergrößerungen im ganzen Gesichtsfeld ein klares und scharfes Bild liefern. Die bessere Kontrastwirkung, die in den Hellfeldaufnahmen von gefärbten Dauerpräparaten im Gegensatz zu solchen von frischen Präparaten deutlich hervortritt, ist zunächst der Färbung mit zu verdanken, welche diese oder jene Struktur elektiv hervorhebt. Dann aber erhält man das strukturelle Sehfeld, den graphischen Hintergrund der abzubildenden Strukturen, stark ausgeleuchtet, da die meisten Einschlußmittel, wie Kanadabalsam, Dammarlack, Lavulose usw. die Lichtstrahlen ebenso wie Glas durchlassen. Auf diesem hellen Untergrund werden die Objekte scharfer und starker hervortreten als z. B. bei Kulturpräparaten, wo der Nährboden einen Teil der einfallenden Strahlen absorbiert (s. S. 340). Die dabei die Bedingungen für die erforderliche Beleuchtung und scharfe Einstellung bei den in Kanadabalsam eingeschlossenen dünnen Dauerpräparaten am leichtesten zu erfüllen sind, braucht nicht besonders hervorgehoben zu werden.

**184. Die Wahl der Färbung.** Mit einer geeigneten optischen Einrichtung und mit entsprechend hergestellten Präparaten wird also ein sonst geübter Fotograf bei den Aufnahmen von gefärbten Dauerpräparaten des Erfolges sicher sein, was man bei lebenden Objekten keineswegs behaupten kann. Was unter geeigneter optischer Einrichtung zu verstehen ist, wurde in den früheren Abschnitten schon ausführlich behandelt, denn die gebotenen Schilderungen von dem Werkzeug, der Optik und Methodik der Mikrophotographie beziehen sich in erster Reihe auf gefärbte Dauerpräparate. Auch die Grundzüge der Präparatenherstellung, soweit sie mit der mikroskopischen Bilderzeugung zusammenhänge, wurden schon früher geschildert (s. S. 25). Hier wollen wir nur noch einige Momente aus dem mikrotechnischen Färbungsvorgang hervorheben, die wegen ihres Einflusses auf die graphische Wirkung von Bedeutung sind.

Vom Gesichtspunkt des Graphikers wird das Wichtigste sein, daß die Bildelemente, auf deren Wiedergabe Wert gelegt wird, dunkel auf hellem Hintergrund oder hell auf dunklem kontrastreich hervortreten. Durch welche Farbstoffe die Kontraste zwischen hell und dunkel erzielt werden, wird ihm gleichgültig sein, solange er mit einer Schwarz-Weiß-Technik arbeitet. Dem Mikrotechniker ist zwar die Farbe nicht gleichgültig, in vielen Fällen ist sie sogar das Entscheidende bei der Auswahl des mikrotechnischen Färbungsmittels. Immerhin strebt auch er im allgemeinen dahin, daß die darzustellenden Strukturen dunkler erscheinen als die Umgebung. Elektiv gefärbte Zellorgane, wie Zellkerne, Mitochondrien, GOLGI-Apparate, Körnchen und Fibrillen pflegt man stets als dunklere Bildelemente in einer helleren gefärbten oder ungefärbten Umgebung hervorzuheben. Für die subjektive Betrachtung begnügt man sich dabei nicht mit den reinen Helligkeitsunterschieden, sondern strebt nach den optisch wirksameren Farbenunterschieden, d. h. man färbt auch die Umgebung in einer Kontrastfarbe zur hervorzuhebenden Struktur. Der Mikrotechniker will also für seine Zwecke dieselbe oder eine noch bessere Kontrastwirkung erzielen, wenn er z. B. den Zellkern grün und den Zellkörper rosa oder orange färbt, statt den Kern schwarz zu färben und den Zellkörper ungefärbt zu lassen. Da das Verfahren der Doppel- oder Mehrfachfärbungen, von den rein optischen Gesichtspunkten abgesehen, große Vorteile für die Kennzeichnung verschiedener Zellbestandteile und Gewebearten bietet, werden zu Untersuchungszwecken am häufigsten mehrfach gefärbte Präparate verwendet. Die Kerne und die Zellorgane erscheinen dann meistens in einer dunkleren Farbe, das undifferenzierte Protoplasma oder die Grundsubstanz der Stütz- und Bindegewebe aber (einfarbig oder mehrfarbig) heller gefärbt (Protoplasmafärbung).

Die so erzielten Farbenkontraste wird der Mikrophotograph aus einem ganz anderen Gesichtspunkt beurteilen als der Mikrotechniker, nämlich nur daraufhin, wie die farbigen Stellen in einer schwarz-weißen Wiedergabe wirken. So wird er z. B. finden, daß eine Doppelfärbung, wo die Kerne grün, die Zellkörper rosa erscheinen, keine so günstigen Kontraste im Lichtbild erzeugt als eine einfache Kernfärbung, wo die Kerne dunkelblau oder schwarz in den ungefärbten hellen Zellen dargestellt werden. Man kann andererseits nicht verallgemeinern und also behaupten, daß dunkelgefärbte Strukturen in ungefarbter Umgebung stets die besten graphischen Wirkungen hervorrufen. Die Dinge sind nicht so einfach, und die Beantwortung der Frage, ob zur photographischen Wiedergabe des Objekts eine einfarbige elektive Färbung sich besser eignet als Kontrastfärbungen in zwei oder mehreren Farben, hängt auch noch von der Beschaffenheit des Objekts und von der Vergrößerung ab, mit der man es abbildet. Wurde man z. B. ein Übersichtsbild von einem Leberpräparat aufnehmen, das nur mit einem Kernfärbstoff behandelt wurde, so wäre das Lichtbild zur Darstellung der histologischen Verhältnisse kaum geeignet trotz der günstigen graphischen Kontraste, die man darin wahrnehmen kann. So wie in diesem Beispiel, verlangt man von allen Übersichtsbildern, die einen größeren Reichtum an Formelementen enthalten, daß sie feiner abgestufte und mannigfaltiger gestaltete Kontraste zeigen als die Präparate, welche nur mit einer einzigen Farbe elektiv gefärbt sind. Ausnahmen sind natürlich auch hier vorhanden. Sind die elektiv gefärbten Bildelemente dicht genug im Sehfeld verteilt, wie z. B. die Nervenzellen und Nervenfasern in den mit Methylenblau oder nach GOLGI, nach RAMÓN Y CAJAL und nach BIELSCHOWSKY behandelten Präparaten, so genügt die einfache elektive Färbung, um ein anschauliches Übersichtsbild zu liefern. Im allgemeinen wird eine Doppelfärbung, d. h. eine Kern- und eine Plasmafärbung, bei allen Übersichtsbildern vorteilhaft sein, wo man die Anordnung der Zellen in ihrem Verhältnis zum Bindegewebe oder zu anderen benachbarten Geweben darstellen will. Bei der Abbildung der Strukturfeinheiten in den Zellen ist es dagegen meistens gleichgültig, ob man neben der elektiv gefärbten Struktur auch die anderen Teile der Zelle färbt oder nicht. Eine helle Kontrastfärbung der Zellkörper wird jedoch auch hier vorteilhafter wirken, denn die ungefärbten Zellen erscheinen in Kanadabalsam viel zu hell und durchsichtig, und die Zellgrenzen werden nicht deutlich genug sichtbar. Benutzt man aber statt Kanadabalsam Lavulose oder Glycerin, so sind die Zellgrenzen auch ohne Plasmafärbung deutlich zu sehen, allerdings haben dann diese Einschlußmittel andere Nachteile gegenüber dem Kanadabalsam.

Zur photographischen Darstellung der wichtigsten oder charakteristischen Strukturen im Präparat eignen sich, wie auch an anderen Stellen schon betont wurde, hauptsächlich schwarze und dunkelblaue Färbungen, wie man sie mit den verschiedenen Hamatoxylinlackfärbungen, mit einigen Beizfärbstoffen nach S. BECHLER, mit Blauschwarz und Keinschwarz oder durch Silber- und Goldimprägnierungen am besten erhalten kann. Die Farben sollen möglichst lichtecht und rein sein, d. h. außer einem engen Spektralbereich alle übrigen Wellenbereiche des weißen Lichts absorbieren. Viele in der Mikrotechnik sehr verbreiteten blauen Farbstoffe, so z. B. Methylenblau, Thionin, Toluidin, lassen außer den blauen Strahlen auch rote Strahlen durch, ebenso Gentianaviolett außer den violetten Strahlen auch rote. Die Wirkung der mit solchen metachromatischen Farbstoffen gefärbten Stellen ist auf der photographischen Platte nie so scharf und genau definiert wie die der farbigen (lichtechten) Stoffe.

Als Kontrastfärbung dazu wählt man am besten gelbe Farben, wie Pikrinsäure, Martiusgelb, Alizarinorange usw. Die roten und rosa Farben, die in der mikrotechnischen Praxis als Plasmafärbstoffe sehr verbreitet sind (Eosin, Erythrosin, Saurefuchsin, Bordeaux usw.) kommen nur in zweiter Reihe in Betracht, und zwar in der Hauptsache nur für Übersichtsaufnahmen von Präparaten, welche aus mehreren Gewebearten zusammengesetzt sind, wo also die Helligkeitsunterschiede rot, gelb und blau die einzelnen Gewebe auch im photographischen Bild besser kennzeichnen. Das Übersichtsbild von einem Querschnitt des Darmkanals wird z. B. von der Schichtung der Darmwand ein anschaulicheres Bild geben, wenn die Schleimhaut, das Bindegewebe und die Muskelschicht in drei verschiedenen Farben gefärbt sind, nämlich in Violett, Rot und Gelb, als wenn Bindegewebe und Muskelschicht dieselbe gelbe Farbe zeigen. Sind aber im Präparat Strukturen rot gefärbt, so erhält man davon nur mit panchromatischen Platten tonrichtige Aufnahmen. Die Aufnahmen auf panchromatischen Platten geben zweifelsohne die beste schwarz-weiße photographische Wiedergabe eines mehrfach gefärbten Dauerpräparates, da die histologischen Färbungen zum größten Teil Mehrfachfärbungen sind, bei denen die eine Farbe stets rot ist (z. B. bei der Hamatoxylin-, VAN GIESON-, der GIEMSA-, der „Azan“- oder der FLEMMINGschen Dreifachfärbung usw.). Es mußte also eigentlich als Regel gelten, daß man zu gefärbten Dauerpräparaten die panchromatischen Platten verwendet und die orthochromatischen nur für die speziellen Fälle bereit hält, wenn Präparate zur Aufnahme gelangen, die in den Kontrastfarben Schwarz-Gelb oder Blau-Gelb bzw. Violett-Gelb gefärbt sind. Da in der Praxis der Zytologen, Histologen und Bakteriologen solche Färbungen viel seltener vorkommen als Doppel- und Dreifachfärbungen mit einer roten Komponente, so wäre eine solche Forderung nur logisch und gut begründet. Nun sind aber die panchromatischen Platten nicht unerheblich teurer als die orthochromatischen, andererseits aber weicht auch ihre photographisch-technische Behandlung, die Desensibilisierung und die Entwicklung bei grünem Licht usw., von dem gewohnten Gang der photographischen Arbeit ab, Umstände also, die bei einem Massenbetrieb, wie man ihn gerade in histologischen und bakteriologischen Laboratorien häufig begegnet, die Ausübung der mikrophotographischen Methode erschweren. Schon aus diesen Gründen trachte man so weit als möglich mit orthochromatischen Platten zu arbeiten, und hier ist dann der Rat von PETERSEN sehr zu beherzigen, daß man die Objekte, die man photographieren will, schon bei ihrer Herstellung den Forderungen der Mikrophotographie entsprechend behandeln soll. In vielen Fällen erzielt man mit solchen den photographischen Forderungen angepaßten Präparaten, die, subjektiv beobachtet, weitaus nicht so farbenprächtiger wirken, bessere Bilder als umgekehrt, wenn man die Präparate so, wie sie zur subjektiven Untersuchung verwendet wurden, unter die Kamera stellt. Oft lassen sich von Präparaten, die sich zu Untersuchungszwecken sehr gut eignen, auf orthochromatischen Platten nur durch allerlei Kunstgriffe brauchbare photographische Bilder erzeugen, und selbst diese mit vieler Mühe gewonnenen Photogramme werden nicht restlos befriedigen. Selbst wenn man den Grundsatz befolgt, daß man die Präparate von vornherein schon zur Aufnahme vorbereitet, werden einem die Schwierigkeiten bei der tonrichtigen Wiedergabe gefärbter Dauerpräparate auf orthochromatischen Platten nicht gänzlich erspart bleiben. Meistens sind nämlich bei den Untersuchungen, deren Ergebnisse photographiert werden sollen, die mikrotechnischen und nicht die mikrophotographischen Gesichtspunkte maßgebend, und die Fälle, wo das mikrophotographische Verfahren den Eigenheiten der gefärbten Präparate angepaßt werden muß und nicht umgekehrt, sind häufig genug. So wird oft der Forscher auf spezifische Kernfärbungen in grüner oder



roter Farbe (z. B. mit Methylgrün, mit Safranin oder Azokarmin) schwerlich verzichten und sie mit schwarzen oder blauen Färbungen vertauschen können. Ebensovienig wird man in bestimmten Fällen auf die Vorteile der ALTMANN-KULLSchen Granula- und Mitochondrienfärbung mit Pikrofuchsin oder auf die Fettfärbung mit Sudan verzichten, obwohl diese sich zu mikrophotographischen Aufnahmen auf orthochromatischen Platten weniger eignen als die schwarz oder dunkelblau gefärbten Präparate (z. B. für Granula und Mitochondrien die Eisenhamatoxylinfärbung nach M. HEIDENHAIN, die Chromhamatoxylinfärbung nach O. SCHULTZE oder die Alizarin-Gentiana-Violett-färbung nach BENDA, für Fette und Lipide die Osmiumreaktion oder die Nilblausulfatfärbung). Wo man aber wählen kann zwischen zwei im mikrotechnischen Sinn gleichwertigen Färbungen, von denen die eine der Struktur eine rote Färbung, die andere eine gelbe bzw. eine dunkelblaue oder schwarze verleiht, wähle man die letztere. Sehr oft beruht die Gewohnheit, das Protoplasma rot zu färben, rein auf Tradition. Färbt man die Zelle statt mit Eosin mit einem gelben Farbstoff, oder läßt man den Zellkörper überhaupt ungefärbt, so kann man die photographische Arbeit ohne Nachteil für die wissenschaftliche Verwertung des Präparates wesentlich erleichtern. Wie aus diesen Ausführungen ersichtlich, wird die mikrophotographische Arbeit mit gefärbten Dauerpräparaten sich leichter oder schwieriger gestalten, je nachdem die Präparate zielbewußt von vornherein mit Rücksicht auf mikrophotographische Gesichtspunkte behandelt wurden oder nicht. Es handelt sich also hauptsächlich darum, ob man schon bei der Herstellung der Präparate sich darüber im klaren ist, wie weit sie für eine mikrophotographische Aufnahme in Betracht kommen. Ist die photographische Aufnahme vorzuzusehen, so wird es bei der Mannigfaltigkeit der mikrotechnischen Färbungsverfahren keine Schwierigkeiten bereiten, eine im photographischen Sinne geeignete Färbung herauszufinden. So ist bekanntlich eins der besten Färbungsverfahren die Eisenhamatoxylinfärbung nach M. HEIDENHAIN, welche sich zu Untersuchungszwecken ebenso vorzüglich eignet wie zu der mikrophotographischen Aufnahme. Fast die gleichen Vorteile hat man im allgemeinen von der WEIGERTSchen Eisenhamatoxylin- oder der Chromhamatoxylinfärbung nach R. HEIDENHAIN und nach O. SCHULTZE. Man braucht meistens bei diesen Färbungen überhaupt keine Plasmafärbung; jedenfalls ist die übliche Nachfärbung in hellroten Farben für mikrophotographische Zwecke überflüssig und sogar nachteilig. Das Protoplasma und die Zellgrenzen erscheinen in den so gefärbten und gut differenzierten Präparaten ohne jede Kontrastfärbung kontrastreich genug. Man trachte also, überall wo Hamatoxylinlacke anwendbar sind, diese den sonstigen mikrotechnischen Färbungsmitteln vorzuziehen. Auch die Hamateinfärbungen eignen sich allein oder in Verbindung mit einer gelben Plasmafärbung sehr gut und können die Karmin-, Azokarmin- oder Safraninfärbungen überall ersetzen. Bei Fettfärbungen wird man öfters statt Sudan die Osmiumreaktion und für Lipide das Nilblausulfat anwenden können, wenn auch, wie schon erwähnt, bei solchen spezifischen histochemischen Färbungen die Wahl einer bestimmten, im photographischen Sinne günstigen Färbung nicht immer feststeht. Ebenso schwer ist es, für photographische Zwecke geeignete Färbungen für das Blut und blutbildende Gewebe zu finden. Alle polychromatischen und metachromatischen Blutfärbungen enthalten eine rote Komponente, und gerade die roten oder rötlich gefärbten Stellen haben im Präparat einen besonderen diagnostischen Wert (eosinophile und pseudo-eosinophile Granulation usw.). Ähnlich liegen die Dinge bei Bakterienpräparaten, die mit Karbolfuchsin oder nach GRAM gefärbt werden müssen. In allen diesen Fällen hat es keinen Sinn, nach anderen Färbungen zu suchen,



sondern man verwendet eben die panchromatischen Platten, mit denen sich auch die roten oder rötlich gefärbten Strukturen tonichtig wiedergeben lassen.

Gelangen nun gefärbte Dauerpräparate zur Aufnahme, die, ohne Rücksicht auf eine mikrophotographische Verwendung hergestellt, ein Farbenbild zeigen, welches die Aufnahme auf orthochromatischen Platten erschwert (und leider ist das in einer großen Prozentzahl der histologischen Präparate der Fall), so wird noch immer zu überlegen sein, ob man nicht besser aus demselben Material neue Schnitte anfertigen und in einer geeigneten Weise färben soll als mit Lichtfilterkombinationen und panchromatischen Platten die photographische Arbeit zu komplizieren. An und für sich darf man natürlich solche Schwierigkeiten nicht scheuen, wenn sich die Mühe lohnt, oder wenn kein anderer Ausweg vorhanden ist. Es ist aber zu bedenken, daß häufig die Herstellung neuer Präparate weniger Arbeit kostet, und daß selbst bei bestem photographischem Können die Aufnahme eines ungeeignet gefärbten Präparates Mangel aufweisen wird, die man durch eine geeignetere Färbung leicht hatte vermeiden können. Es wird selten vorkommen, daß das Material zur Herstellung neuer Präparate fehlt bzw. nicht angeschafft werden kann. So wird man z. B. aus einem Material, das man in Schnitten mit der Azokarmin-MALLORY-Färbung („Äzan“-) untersucht hat, neue Präparate herstellen können, wo die Kerne statt mit Azokarmin mit Hamatoxylin gefärbt sind und daher im photographischen Bilde besser zur Darstellung gelangen (vgl. auch S. 132). Bei einem seltenen Material oder bei launenhaften mikrotechnischen Reaktionen bleibt einem natürlich nichts anderes übrig, als die Präparate so zu photographieren wie sie sind (vgl. K. JOHN [1]).

**185. Schnittdicke und Einschlußmittel.** Die Vorteile eines den mikrophotographischen Forderungen angepaßten Dauerpräparates liegen jedoch nicht ausschließlich darin, daß man das Farbenbild zu einer schwarz-weißen Wiedergabe günstig gestalten kann. So wertvoll auch die dadurch bedingte Erleichterung der mikrophotographischen Arbeit sein mag, lassen sich mit Lichtfiltern und panchromatischen Platten fast von allen bekannten Arten der bewahrten mikrotechnischen Färbungen einwandfreie schwarz-weiße Photogramme erzielen, wenn auch bei den einen leichter als bei den anderen. Ebenso wesentlich, oft sogar noch wesentlicher, ist aber der Vorteil, daß man auch die Schnittdicke von vornherein der Tiefschärfe des abbildenden Systems anpassen und auch sonstige Momente der Präparatbehandlung strenger berücksichtigen kann, als das bei der Vorbereitung des Materials zu Untersuchungszwecken meistens geschieht. So wird man bei gefärbten Präparaten, die photographiert werden sollen, viel genauer auf das Auswaschen nach der Färbung achten müssen, denn die graphischen Kontraste zwischen elektiv gefärbten Strukturen und Umgebung können bei der Empfindlichkeit der Platten schon durch ganz geringe Farbstoffreste, die im Protoplasma zurückgehalten wurden und bei subjektiver Betrachtung kaum bemerkbar sind, beeinflußt werden. In den nicht weitgehend ausgewaschenen oder differenzierten Präparaten erscheint deshalb der Zellkörper im photographischen Bild meistens dunkler als im Mikroskop. Aus diesem Grunde eignen sich auch solche Präparate besser zu photographischen Aufnahmen, die mit einer dünnen Farblösung langsam gefärbt wurden als jene, die man mit konzentrierten Lösungen rasch überfärbt und dann differenziert hat. Bei Eisen- und Chromhamatoxylinfärbungen stört die etwas braunliche oder graue Tönung der Zellkörper nicht, die nach einer gründlichen Differenzierung noch zurückbleibt; nur darf man dann keine weiteren Protoplasmafärbungen anwenden, vor allem keine rote Färbung. Sehr wichtig für die Erzielung reiner und deutlicher Kontraste ist, daß das Einschlußmittel möglichst farblos sei. Die meisten alten Kanadabalsampräparate, zu denen man in Xylol oder Benzol gelosten Balsam

verwendet hat, zeigen eine dunkelgelbe Farbe, was für die Helligkeit des Hintergrundes im Photogramm nachteilig ist. Daß gelb gefarbte Strukturen in einer solchen Umgebung nicht genügend hervortreten werden, dürfte ohne weiteres einleuchten. Je dicker die Kanadabalsamschicht ist, um so stärker tritt natürlich ihre Färbung in Erscheinung. Alle diese Momente kann man im voraus schon berücksichtigen und regeln, wenn man die Präparate zielbewußt zu den Aufnahmen vorbereitet. Man wird z. B. für die gefärbten Dauerpräparate, die zur Aufnahme gelangen sollen, statt des gewöhnlichen, in Xylol oder Benzol gelosten Kanadabalsams eine kleine Flasche Balsam im Chloroform gelöst und zu gleichen Teilen mit optischem Zedernöl gemischt, bereit halten. Dieser Balsam ist fast farblos und auch sonst von bester optischer Qualität, sein einziger Nachteil ist, daß er viel langsamer erstarrt als der gewöhnliche, was bei der Anwendung von Immersionslinsen beachtet werden muß. Die optimalen Verhältnisse erhält man, wenn man die gefärbten Schnitte in reinem optischem Zedernöl photographieren kann und sie dann später in Kanadabalsam einschließt. Auch die in Lavulose und Glycerin eingeschlossenen Präparate haben den Vorteil, daß das Einschlußmittel vollkommen farblos ist. Das Gegenteil findet man bei Präparaten, die in Glyceringelatine eingeschlossen wurden, denn dieses Einschlußmittel zeichnet sich durch eine bräunliche Farbe aus. Allerdings braucht man die gelbliche Färbung des Einschlußmittels nicht in allen Fällen als Schaden anzusehen. Die Empfindlichkeit der orthochromatischen Platten ist den gelben Strahlen gegenüber hoch genug, daß man bei richtiger Beleuchtung auch dann einen sehr hellen Hintergrund erhält, wenn das Einschlußmittel gelblich gefärbt ist. Sind die Strukturen blau, violett oder schwarz gefärbt, so kommen sie auf der photographischen Platte ebensogut zur Geltung wie bei vollständig farblosem Einschlußmittel. Die Farblosigkeit des Einschlußmittels ist aber von wesentlichem Vorteil, wenn im Präparat orange, gelb oder grün gefärbte Strukturen vorkommen, wie das bei histologischen Präparaten häufig der Fall ist (EHRlich-Biondi-Färbung, Hamatoxylin — VAN GIESON usw.).

**186. Die Behandlung des Negativs und des Abzuges.** Die Fragen der Beleuchtung, der Anwendung von Lichtfiltern und der Entwicklung und speziell in Hinsicht auf die gefärbten Dauerpräparate wurden schon an früheren Stellen (s. S. 109 u. 130) ausführlich behandelt. Auf einige besondere Momente wollen wir jedoch auch hier noch eingehen. Zunächst sei beachtet, daß die Aufnahmen von gefärbten Dauerpräparaten eine etwas weichere Bearbeitung besser vertragen als eine härtere. Vor allem wirken Übersichtsbilder, hart bearbeitet, recht ungünstig (Abb. 237 u. 238). Auch bei Aufnahmen mit starken Vergrößerungen, wo es sich also um Strukturfeinheiten innerhalb der Zelle handelt, kommen diese nur dann richtig zum Vorschein, wenn die Platte gut durchgearbeitet ist. Man soll daher keine kurze, sondern eine normale Belichtungszeit wählen (d. h. das Mittel zwischen den noch günstigen kürzesten und längsten Belichtungszeiten) und lange entwickeln. Verdünnte Entwicklungslosungen bei lange dauernder Entwicklung ergeben bessere Resultate als stärkere bei kurzer Einwirkungsdauer. Die Methode der Wahl ist bei der Entwicklung gefärbter Dauerpräparate die Standentwicklung. Als solche bewahren sich die Glyzinentwickler bei ihrer gleichmäßig langsamen Wirkung vorzüglich, man kann jedoch auch irgendwelche der sonstigen gebräuchlichen Metol-, Hydrochinon- oder Pyrogallolentwickler ebensogut benutzen, wenn man durch Entwicklungsproben die Konzentration und die Entwicklungszeit ermittelt hat.

Für die positiven Bilder eignen sich weiche und harte arbeitende Papiere gleich gut. Dafür und ob man die Kopien mit Hochglanz versehen soll oder nicht, gibt es keine allgemeinen Regeln. Die schönsten Bilder gefärbter



schwarz-weißen Abbildung und der Farbe, in welcher die charakteristische Stelle hervorgehoben werden soll, vollkommen zufriedengestellt sein

**188. Die Wahl zwischen zeichnerischer und mikrophotographischer Abbildung.** Im Anschluß an diese Erörterungen müssen wir nun auch die weitere Frage besprechen, wann man bei der Abbildung gefärbter Dauerpräparate die Mikrophotographie einer zeichnerischen Darstellung vorziehen und wann umgekehrt die Zeichnung gewählt werden soll. Gerade bei den gefärbten Dauerpräparaten ist diese Frage begründet, denn hier sind die Bedingungen für die zeichnerische Arbeit wie für die mikrophotographische Aufnahme in gleicher Weise günstig. Während man bei frischen Präparaten oder lebenden Objekten auf die Mikrophotographie angewiesen ist, teils weil die Präparate leicht veränderlich sind, vor allem aber, weil nur auf photographischem Wege ein objektives, überzeugendes Dokument von dem Zustand des verganglichen Präparates im Moment der Untersuchung zu erhalten ist, kommt bei gefärbten Dauerpräparaten der mikrophotographischen Methode diese Bedeutung nicht mehr zu. Die eigentlichen Belege der Untersuchungen stellen hier die Präparate selbst dar, und diese lassen sich ruhig und genau abzeichnen. Auch die strenge Objektivität der Abbildung, welche die wertvollste Eigenschaft des Lichtbildes ist, spielt keine solche entscheidende Rolle mehr, denn die Präparate können immer wieder vorgeführt oder ausgeliehen werden. Den Ausschlag für die Wahl des Abbildungsverfahrens werden also hier nur rein praktische Gesichtspunkte geben, nämlich die Erwägung, mit welchem Verfahren man am wirtschaftlichsten zu dem gewünschten Ziele kommt. Zu Übersichtsbildern bei schwachen und mittelstarken Vergrößerungen wird man unbedingt der Mikrophotographie den Vorzug geben, denn sie liefert in kürzester Zeit in allen Teilen vollkommen durchgearbeitete Bilder, und zwar von solcher Schärfe und graphischer Wirkung, wie man sie mit der Zeichnungsmethode nur von kunstlerisch geübten Personen und auch von diesen nur nach langer, anstrengender Arbeit erhalten konnte (vgl. Abb. 238). Für die Abbildung der Objekte bei starken Vergrößerungen wird sich umgekehrt die Zeichnung besser eignen, vor allem deshalb, weil man die Strukturfeinheiten, auf deren Wiedergabe es bei solchen Abbildungen ankommt, mit einer Tuschezeichnung scharfer und deutlicher darstellen kann, als selbst mit der bestgelungenen photographischen Aufnahme. Bei entsprechender Übung wird es auch kaum besondere Schwierigkeiten bereiten, das Gesichtsfeld bei einer starken Vergrößerung objektgetreu abzuzeichnen, wobei man noch den wesentlichen Vorteil hat, daß man frei darüber verfügen kann, ob man durch Vernachlässigung nebensächlicher Einzelheiten den eigentlichen Gegenstand graphisch besser hervorheben soll oder nicht. Es werden allerdings gerade bei zytologischen Streitfragen, deren Lösung nur mit den stärksten Apochromaten unternommen werden kann, als objektgetreue und einwandfreie Unterlagen oder Photogramme erforderlich sein, wie solche z. B. von R. GOLDSCHMIDT (1) zu seinen Untersuchungen am Nervensystem der Askanis (Abb. 239), von J. SEILER (1) bei der Darstellung der Reifeteilung der Schmetterlingseier (Abb. 240) oder von K. BĚLAŘ (5) zum Nachweis der Wirkung von Fixierungsmitteln auf die Keimteilungsfiguren in vorbildlicher Weise geliefert wurden (Abb. 235). Außer solchen Photogrammen von dokumentarischem Wert wird aber in allen Fällen, wo man nur ein anschauliches Bild der Zellstrukturen zu geben wünscht, der Mikrophotographie sich die Zeichnung überlegen erweisen (vgl. Abb. 241). Sie bietet dem Forscher die Möglichkeit, das Bild in einer der drucktechnischen Wiedergabe günstigen Art als Punktzeichnung, Strichzeichnung oder in Sepiamanier zu gestalten und die charakteristischen Kontraste scharf hervorzuheben, wobei man, was das Wesentliche ist, subjektive Beobachtungen mit verschiedenen Einstellungen in einer

einigen graphischen Ebene vereinigen kann. Bei der sehr geringen Fokustiefe der starken Objektive wird man in einem photographischen Bild bei einer bestimmten Einstellung nur in einer einzigen optischen Ebene die Zellstrukturen scharf abbilden können, und alles, was darunter oder darüber liegt, muß dann unscharf erscheinen (vgl. Abb. 241 b u. c). Selbst die bestgelungenen photographischen



Abb. 239 Nerven zelle des *Isurus lambrus* mit Fibrillenstruktur. Hom. Imm. ZEISS Obj., Apochr. 90fach, num. Ap. 1,4 (2 mm), Projektionsokular 1 (Aus R. GORDSCHMIDT [2, Taf. 25, Abb. 121]).

Aufnahmen von den dazu geeigneten dünnen und elektiv gefärbten Präparaten werden deshalb im Vergleich zu den Tuschezeichnungen stets unscharf und etwas verschwommen wirken. Diese durch die geringe Fokustiefe des Objektivs bedingte Unschärfe läßt sich allerdings mit dem Verfahren von PETERSEN, d. h. durch eine Aufnahme mit mehreren Einstellungen bis zu einem gewissen Grad vermeiden (s. S. 89), eine gleiche Schärfe des Bildes wie in der Tuschezeichnung wird man jedoch selbst mit diesem Verfahren nicht erreichen.

Ob man mit einer Aufnahme in UV-Licht nicht auch von gefärbten Präparaten wesentlich schärfere und dabei starker aufgelöste Bilder

erzielen konnte als im weißen Licht, ist noch nicht untersucht worden. Aller Wahrscheinlichkeit nach würde sich ein solcher Versuch lohnen gerade bei Zellstrukturen, wie z. B. den Chromosomen, Mitochondrien und Golgi-Apparaten.

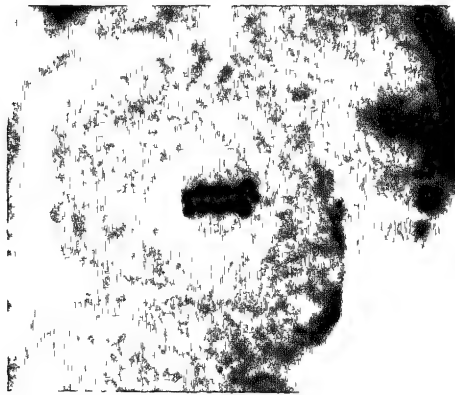


Abb. 240 Chromosomen der *Aspergillus niger* auf einer Schmelzglasplatte bei der Aufnahme mit einem Schmelzglas-Licht (aus dem Buch von J. SEILER).

Zum Schluß sei noch bemerkt, daß man das mikrophotographische Verfahren oft auch als Hilfsmittel zur Herstellung von Zeichnungen vorteilhaft verwenden kann<sup>1</sup>. Man kann dabei auf verschiedene Weise vorgehen, entweder so, daß man eine normale Kopie auf mattem Gashichtpapier mit Tusche überzeichnet und dann das reduzierte Silber aus der Kopie herauslost oder aber so, daß man von der Platte eine stark unterbelichtete Kopie auf mattem Gashichtpapier herstellt und diese dann als Unterlage benutzt, um darauf das mikroskopische Bild mit Tusche genau auszuarbeiten. Normale, d. h. richtig belichtete Kopien, eignen sich nur zu

Federzeichnungen, da das schon vorhandene photographische Bild die richtige Wiedergabe der Helligkeitsunterschiede mit Pinsel und Tusche verhindert. Ist die Tuschezeichnung auf der Kopie getrocknet, so daß die Tusche gewissermaßen in die Schicht des Gashichtpapiers eingedrungen ist, so bringt

<sup>1</sup> Vgl. K. BETHE (4 S. 497).

man sie in eine etwa 10proz Jodjodkalilösung und hält sie dort so lange, bis das schwarze photographische Bild einen gelblichen Ton angenommen hat. Nun wird die Kopie in das saure Fixierbad übergeführt, wo sie innerhalb 15—30 Minuten die Tuschezeichnung auf einem weißen Untergrund zeigen soll. Nach gründlichem Waschen und Trocknen ist dann die Zeichnung fertig. Ein Nachteil des Verfahrens ist, daß beim Waschen auch die Tuschezeichnung leicht ausgewaschen wird, falls sie an der Schicht des Papiers nicht gut angetrocknet war oder die Schicht des Papiers zum Festhalten der Tusche ungeeignet ist. Man soll daher die Federzeichnung erst nach 24 Stunden mit Flüssigkeiten in Berührung bringen, und falls auch dann noch etwas Tusche im Wasser ausgelöst wird, suche man sich ein geeignetes Papier.

Die Gefahr, daß man die Tuschezeichnung von der Kopie abwascht, läßt sich auch dadurch vermeiden, daß man die Kopie nicht auf gewöhnlichem Gaslichtpapier, sondern auf sog. Blaueisenpapier anfertigt. Die blauen Stellen der Kopie braucht man dann gar nicht zu entfernen, in der drucktechnischen Anstalt werden nur die mit Tusche gezeichneten Stellen berücksichtigt und alle übrigen weiß reproduziert.

Das Überzeichnen stark unterbelichteter Kopien, wie SOBOTA (1) es angegeben und vielfach ausgebaut hat, bietet den Vorteil, daß man auf dem blassen photographischen Bilde nicht nur Striche zeichnen, sondern auch die Helligkeitsunterschiede in Sepiamanier fein und genau ausarbeiten kann. Gerade die

leichten grauen Töne in der unterbelichteten Kopie erleichtern die zeichnerische Wiedergabe des undifferenzierten Protoplasmas oder der Grundsubstanz

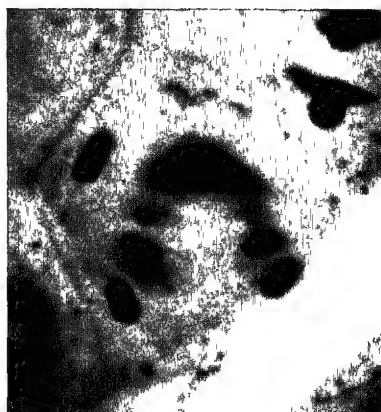


Abb. 241. Somenzelle der Heuschrecke *Stenobrodus lineatus*. a Zeichnung in Sepiamanier, b Mikrophotographie bei hoher Einstellung, c bei tiefer Einstellung. Hom. Univ. Zfiss. Obj., Apochr. 90fach, num. Ap. 1.3 (2 mm), knapp Ok. 20fach. Vergr. etwa 23.200. Zeichenblatt in Objektischhöhe und dementsprechend die Kammerlänge. (Aus K. BELAR (4), Abb. 151, 154 u. b, S. 494 u. 497.)

Man hat so schon den Grundton, von welchem sich die Zeichnung vorteilhaft abheben wird. Die Schwierigkeit besteht nur darin, bei der Herstellung der Kopie den Grad der Unterbelichtung genau zu treffen. Ist die Kopie zu dunkel gelungen, so wird die Tuschezeichnung sich nicht gut abheben. Man kann sich allerdings in solchen Fällen damit helfen, daß man das photo-

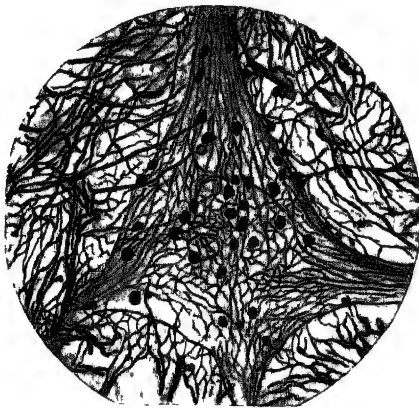


Abb 242 Nervenzelle mit Neurofibrillen, Nervenfasernetz und Endkolben. Schnittpräparat nach RAMÓN Y CAJAL behandelt.

Hom. Imm. ZEISS 90fach, num. Ap. 1,25, „Phoku“  
Tuschezeichnung auf einem unterbelichteten Abzug.

graphische Bild in der schon erwähnten Weise mit Jodjodkalilösung entfernt. Ist wiederum die Kopie zu stark unterbelichtet, so hat man keine brauchbare Unterlage für die Zeichnung, denn man wird sich in den allzu blassen Abzügen nur schwer zurechtfinden. Man muß also mehrere Kopien mit verschiedenen Belichtungszeiten anfertigen, was natürlich das Verfahren etwas umständlicher macht. Hat man aber die richtig abgeschwachte Kopie gefunden, so wird man die angewandte Muhe nicht bereuen, denn man wird dann eine Abbildung erhalten, welche die Schärfe und die graphischen Kontraste der Zeichnung mit den fein abgestuften Helligkeitsunterschieden des photographischen Bildes harmonisch vereint. Besonders

eignet sich das SOBOTTISCHE Verfahren zur Abbildung lebender Zellen, so z. B. gezuchteter Gewebezellen, die mit einem Zeichenapparat ebenso schwer abzubilden sind wie mit der photographischen Kamera, ferner zur Darstellung feinsten Zellstrukturen in Dauerpräparaten bei stärksten Vergrößerungen. Von Chromosomen, GOLGI-Apparaten und Neurofibrillen erhält man auf diese Weise Bilder, die objektgetreuer wirken als die Zeichnung und graphisch wirkungsvoller sind als die Lichtbilder (Abb. 242).

# Namen- und Quellenverzeichnis.

Die Abkürzung der Zeitschriftentitel ist nach den Periodica Medica (herausgeg. von der Vereinigung der Deutschen Medizinischen Fachpresse, 1928) durchgeführt. Das Zeichen † steht für Abbildung.

Bei den Verweisungen ist bei den Ordnungszahlen der Quellen in den meisten Fällen nur die betreffende Seite (bei den Quellen steht sie zum Abtich von der Anfangsseite der Quelle kursiv) des Textes angegeben worden. Stand die Ordnungsziffer der Arbeit in der Erklärung einer Textabbildung, so ist als Hinweis beispielsweise geschrieben worden 152 †61, und das ist zu lesen Seite 152 unter Bild 61. Gegebenenfalls ist — etwa 185 Tab. 17 — die Ordnungszahl der Tabelle aufgenommen worden, und die Anmerkungszahl, wenn, wie etwa in 337<sup>1</sup>, die Quelle in der 1. Anmerkung angeführt wurde.

Weicht die Schreibung des Namens oder Vornamens von der im Text gebrauchten ab, so erschien die hier aufgenommene dem Herausgeber als die richtigere.

ABBE, E. (1) Beiträge zur Theorie des Mikroskops und der mikroskopischen Wahrnehmung. Gesammelte Abhandlungen 1, 45. Jena: G. Fischer 1904. 191

ABBESCHNITT 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000.

ABBESCHNITT 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000.

ABBESCHNITT 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 4



- BECHER, S. (1) Über eine auf die Struktur des Echinodermenskelettes gegründete neue Methode zur Herstellung von polarisiertem Licht Zool Anz 44, 122 (1914) 41
- (2) Über Anisol als Immersionsmittel und über andere leicht entfernbare und restlos verdunstende Immersionsflüssigkeiten Z Mikrosk 42, 295 (1925) Anführung der Quellennummer im Text vergessen 41
- BECHER, S., seine Immersionsflüssigkeit 41
- sein Färbungsverfahren 132, 391
- BECHHOLD, H., u L VILLA (1) Die Sichtbarmachung subvisibler Gebilde Z Hyg 105, 601 (1926) 217
- BECK, C. (1) Notes on the ABBE Theory J microsc Soc 49, 127 (1929) 191
- BECK, sein Vertikalilluminator 230, 231 †128, 234, 246
- BECKSCHE Linse, die 290, 325, 326, 327 †205
- BEER, S. (1) Osservazioni sulla fluorescenza presentata dagli organi interni del baco da seta sotto l'azione della luce di Wood Boll Soc ital Biol spec 5, 1 (1930) 312
- BĚLAŘ, K. (1) Die Cytologie der Meiospermie bei freilebenden Rhabditis-Arten Z Zellenlehre 1, 1 (1924) 333
- (2) Aus meiner Photographien-sammlung Naturforscher 1926 27, 51 326 †202 u †203
- (3) Untersuchung der Protozoen Methodik wiss Biol 1, 735 (1928) 328<sup>1</sup>, 343<sup>1</sup>
- (4) Zeichentechnik Ebenda 2, 480 (1928) 71, 398<sup>1</sup>, 399 †241
- (5) Über die Naturtreue des fixierten Präparats Z indukt Abstammungs- u Vererbungslehre, Suppl. Bd 1, 404, 192 (1928) 389 †235, 397
- (6) Beiträge zur Kausalanalyse der Mitose III Z Zellforsch 10, 73 (1929) 350 †215
- BELL & HOWELL Co., ihr billiges Normalmodell 364
- BENDASCH, Alizarin-Gentiana-Violettstörung 393
- VAN BENEDEN, E., seine mikrophotographischen Aufnahmen 6
- BENECKE, B. (1) Die Photographie als Hilfsmittel mikroskopischer Forschung Nach dem Französischen von A MOITTESSIER deutsch bearb. und durch zahlreiche Zusätze erweitert Braunschweig F Vieweg & Sohn 1868 3, 182<sup>1</sup>
- BEREK, M. (1) Bemerkungen zu der Mitteilung des Herrn J GEORCI Die Scharfentiefe des Mikroskops Z Mikrosk 37, 120 (1920) 171, 199
- (2) Zur Theorie der Spiegelkondensoren für Dunkelfeldbeleuchtung und Ultramikroskopie Ebenda 40, 225 (1923) 199, 201
- (3) I Analytische Entwicklungen zur Frage rationaler Beleuchtungsanordnungen für Mikroskopie und Mikroprojektion I. Ein neues mikrophotographisches
- Apparat der optischen Werke E LEITZ. Ebenda 40, 241 (1923) 163
- BEREK, M. (4) Betrachtungen zur Darstellung des Abbildungsvoiganges im Mikroskop und zur Frage des Auflösungsvermögens im Hellfeld und Dunkelfeld Ebenda 41, 1 (1924) 91, 199
- (5) On the extent to which real image formation can be obtained in the microscope J microsc Soc 49, 240 (1929) 191
- (6) Abbildung eines ultramikroskopischen Elements mit rotations-symmetrischem Störungs-feld durch ein Mikroskop beliebiger Apertur im Dunkelfeld Ann Physik (5) 4, 285 (1930) 199
- BERKE, M., sein bizenitrischer Kondensor 210 †110
- BERGONZINI, M. s u T PÉTERFI
- BERLINER, A. (1) Lehrbuch der Physik, Berlin Julius Springer, 3 Aufl 1924, und 4 Aufl 1928 41 †14
- BERTRAND, I., u L JUSTIN-BESANÇON. (1) La micrographie en lumière infra-rouge Application à la cytologie rénale Bull Histol appl 6, 376 (1929) 313
- — — (2) La micrographie en lumière infra-rouge Paris Masson & Cie 1929 313
- BERTRAND, I. (1) Cytologie nerveuse en lumière infra-rouge Rev d'Actinol 5, 673 (1929) 313
- s a unter E CAZZAVARA
- BERTRAND, I., verwendet WRATTSsche Filter für ultrarote Aufnahmen 314 erzielt sehr günstige Ergebnisse 311
- BERTRAND, s u AMT-B
- BESSON, A. (1) Technique microbiologique et scrothérapique Paris A J BAILLIÉRE 1928 331
- BIELCHOWSKI, Präparat nach ihm 391
- BIONDI, s u LERICHE B 395
- BOECHEHOLD, H. (1) Das zusammengesetzte Mikroskop Czapski EPPENSTEIN, 3 Aufl, S 469 70 Leipzig Joh Amb Barth 1924 131, 191
- BOEGEHOLD, H. u A KOHLER (1) Das Homal ein System, welches das mikrophotographische Feld ebnet Z Mikrosk 39 249 (1922) 11
- BOAS, H. (1) Über die optische Abbildung von Nichtselbstleuchtenden Bemerkungen zur Arbeit von Herrn SEDENTOPF Z Physik 52 287 (1928) 191
- Bei seine Bolex Kamera (s u sein Bolex Projektor 20)
- BOUSSINQUE, Louis (1) Les Mondes 49 115 (1869) S a Brit J Phot 16, 287 (1869) 5
- BOUSFIELD, E. C. (1) Guide to the science of photomicrographie 2 Aufl London Churchill 1892 891
- BRUCHMANN, u GÖTTSCHEW 167
- BRIEGER, H. (1) Zur Anwendung der Capillarmikroskopie nach JAANSCH-HOFFNER-WITTENBERG Klin Wschr 1929 I, 296 228

- BRIGGS, L J, s u W T SWINGLE  
BROWN, G L, and F W LAMB (I) Apparatus for the observation and photography of the skin capillaries in man J Physiol 65, IV (1928) 228  
BUDER, J (I) Kinetatographische Registrierung mit dunkelstem Rot und kurzer Beleuchtung Ber dtsch bot Ges 44, 47 (1926) 366  
BUKOWIECKI, H, s u L MAZURKIEWICZ  
BULL, L (I) La chronophotographie microscopique J Physiol et Path gén 15, 499 (1913) 358<sup>1</sup>, 371<sup>1</sup>, 383  
BUNSEN ROSCOES Gesetz 1051f  
BURGESS, A S: (I) Note on resolution with dark-field illumination J microsc Soc 49, 237 (1929) 19<sup>1</sup>  
BUSCH, E  
seine Druckschriften  
Dr 25 177 †81  
Mikro 310 181 †87, 183  
Für auffallendes Licht 228 †125, 229 †126  
Gebrauchsanw für Schräglicht 236 †132  
X 238 †135  
Seine Objektive und Zusammenstellungen 235 †131, 237, 239  
seine Horizontalkammer 8, seine Aufsatzkammer 8, 176, 177 †81, 347, seine Vertikalkammer 58, seine Ebnungsokulare 177, sein Metaphot, Modell 400 181 †87, sein Aufnahmeobjekt 197, sein Mikro-Glyptar 220 †116, sein Lilliput-Objektiv 220, seine mikrophotographische Aufnahme für Autlicht 221 †117, sein Lilliput-Objektiv für Autlicht 229, sein Vertikalilluminator 236 †132, 238 †134 sein Dunkelfeldkondensor für Autlicht 238 †135, seine Einrichtung zur Lumineszenzmikroskopie 308 †194, sein UV-Spiegel 309, sein Spektfilter 309  
CALZAVARA, E, et I BERTRAND (I) Emploi des sensibilisateurs photographiques en micrographie histologique Rev opt 6, 397 (1927) 313  
CANTI R G (I) Dark ground cinematography of cells in tissue cultures Arch exper Zellforsch 8, 133 (1929) 373, 374  
CAPRANICA, ST (I) Fotografia istantanea dei preparati microscopici Rendic d Accad d Lincei 4 Ref in Z Mikrosk 5, 228 (1888) 9, 591, 358<sup>1</sup>  
CARNOY'sches Gemisch 307  
CARREL A, Abteilungsvorsteher von H ROSENBERGER 359  
CARREL'sche Flaschen 355 336 1211  
CASTANOS Kopierapparat 365  
CASTRACNE, F (I) Su la illuminazione monocromatica del microscopio e la fotomicrografia e loro utilita Atti Accad Pontif di nuova Lincei 24, 1871 1  
CASTRACNE F verwendet künstliches Licht zur Mikrophotographie 1  
CERNY A (I) Mikrophotographische Schnell- und Serienaufnahmen Photogr Praktikum, herausgeg von A HAY 189 1930 142, 311, 352  
CERNY'sche Mikrokammer S, Mpon oder Michto 175 mit Rollfilmkammer 352

- CHAPMAN & ALDRIDGE, ihre Autlichtbeleuchtung 239<sup>1</sup>  
CHEVRETON, L (I) Dispositif pour les instantanées et la chronophotographie microscopique Technique des prises de vues C r Soc Biol 56, 340 (1909) 358<sup>1</sup>  
CHEVRETON, L, et F VLÈS (I) La cinématique de la Segmentation de l'œuf et la chronophotographie du développement de l'oursin C r Acad Sci 149, 806 (1909) 358<sup>1</sup>, 379  
COHEN, A, Handbuchbeitrag 60  
COISSAC, G M (I) Histoire du cinématographe de ses origines à nos jours, 1 Ed Paris Gauthier-Villars 1925 358<sup>1</sup>  
COMEL, M (I) Problemi di morfologia cutanea Cappilaiscopia e cutiscopia da morfogenesi dei capillari cutanei Giorn ital Dermat 71, 2114 (1930) 228  
COMMANDON, J (I) La microcinematographie Protoplasma 6, 627 (1929) 352, 358<sup>1</sup>, 373  
COMMANDON, J, seine ersten mikrokinematischen Aufnahmen 9, 358<sup>1</sup>, seine Anordnung der rotierenden Blende 361  
CRACIUN, C E (I) La culture des tissus en biologie expérimentale Paris: Masson & Cie 1931 334<sup>1</sup>  
CURTIS, Frühe Aufnahmen mit kurzwelligem Licht 4  
CZAPSKI, S, u O EPPENSTEIN (I) Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente nach ABBE, 3 Aufl Leipzig J A Barth 1924 13<sup>1</sup>  
CZERNY, M (I) Über Photographie im Ultraviolet Z Physik 53, 1 (1929) 313<sup>1</sup>  
DAIMLER, J (I) Die Grundlagen der photographischen Negativ- und Positivverfahren Photograph. Praktikum, herausgeg v A HAY, 33, 1930 104  
DAMIANOVICH, H, u J PROSKY (I) Verwendung der Mikrophotographie mit ultravioletem Licht, um Veränderungen durch die Reagenzien in der Histologie aufzudecken An Inst Modelo Clin med 10, 147 (1927) 306  
DANCER, J B, seine frühen Versuche mit der Mikrophotographie 1  
DANCWORTH, P N (I) Die Lumineszenz-Analyse im ultravioletten Licht, 2 Aufl Leipzig Akad Verlags Ges 1929 251, 308, 311  
DAUVILLIER, A (I) Realisation de la microradiographie integrale C r Acad Sci Paris 190, 1287 (1930) 376  
DAUVILLIER'S Röntgenröhre 316 Knochenmarkaufnahme damit 316  
DAVY H, Vorläufer der Mikrophotographie 1  
DEBRILL, seine Mikrokammer 360, sein Zeitstrahl 379 †232, seine Hochfrequenzmikroskopie 382, 382 †235  
DELLANDRI, G (I) Microscopie pratique 1. Le Lilliput de naturaliste 11 2. Le Lilliput de Lechevalier 1930 Aufnahme der Quellen im Text vergessen 1

- DEGNER, E (1) Medizinische Kinematographie Photograph Praktikum, herausgeg v A HAY, 303, 1930 360, 365<sup>1</sup>
- DEMUTH, FR (1) Praktikum der Zucht von Warmblutergewebe in Vitro Munchen R Muller 1929 334<sup>1</sup>
- DERRIEN, E., et J TURCHINI (1) Sur l'accumulation d'une porphyrine dans la glande de HARDER des rongeurs du genre mus et sur son mode d'excitation C r Soc Biol 91, 637 (1924) 312
- DIPPEL, L. (1) Das Mikroskop 1 u 2 der 2 umgearbeiteten Aufl Braunschweig F Vieweg & Sohn 1882 u. 1883 1<sup>1</sup>, 3<sup>1</sup>, 5<sup>1</sup>, 13<sup>1</sup>, 182<sup>1</sup>
- DONNE A seine Daguerreotypen mikroskopischer Objekte 1
- DOST, W (1) Geschichte der Kinematographie, 1 Aufl Halle a d S W Knapp 1925 358<sup>1</sup>
- DRUNER, L (1) Über Mikrostereoskopie und eine neue vergrößernde Stereoskopkamera. Z Mikrosk 17, 281 (1900) 258
- DRÜNERSche Stereoskopkamera 258ff., 259 +159 u +160, 268, Vergrößerungen mit und ohne Aufsatz, 260 Tab 24, 273, 321
- DUBOSCQ, seine trocknen Kollodiumplatten 3
- DUIJARDINsche metallographische Einrichtung 254
- DURCK (1) Demonstration eines photographischen Universalgerätes für wissenschaftliche Abbildung Zbl Path., 37, Erg.-H 325 (1926) 123
- DÜREN, Filmweiche ihr Rohfilm 366
- DUTTON, L O (1) A simple method of making microphotographs J Labora clin Med 16, 831 (1931) 173<sup>1</sup>
- EASTMAN s unter KODAK
- EDER, M J (1) Ausführliches Handbuch der Photographie, Bd 1 Halle W Knapp 1912 1<sup>1</sup>
- (2) Vergleichende Tabelle der spektralen Farbenempfindlichkeit von Biom., Jod- und Chlorsilber und der Wirkung der wichtigsten Farbensensibilisatoren. Z wiss Photogr 24, 139 (1926/27) 128
- EDISONsche Birne 132
- Ein von Tschudi-Littmann (2)
- Ein von Tschudi-Littmann 395
- Ein von Tschudi-Littmann
- EISENBERG, K B (1) Über eine neue Methode zur Darstellung des hängenden Tropfens im Dunkelfeld mit Immersionsobjektiv Zbl Bakter., Abh I 105, 306 (1928) 321<sup>1</sup>
- (2) Über einen neuen heiz- und kühlbaren Mikroskopobjektstisch mit selbsttatiger Regulierung (für alle optischen Bedingungen der Beobachtung) Zbl Bakter., Abh I 107, 315 (1928) 337<sup>1</sup>
- ELLINGER, PH., u A HIRT (1) Eine Methode zur Beobachtung lebender Organe mit stärksten Vergrößerungen im Lumineszenzlicht (Intravitalmikroskopie) Handb biol Arbeitsmethod (ABDERHALDEN), Abt V, Tl 2 Berlin-Wien, Urban & Schwarzenberg 1930 218
- ELSNER v GRONOW, H (1) Zur Mikrophotographie opaker Gegenstände bei schwacher Vergrößerung Z Photogr 24, 426 (1926/27) 196, 220
- (2) Ein neues mikrophotographisches Objektiv für Amateure Photogr Korresp 64, 15 (1928) 1, 96, 220
- (3) Zur Benutzung des Teleobjektivs in der Mikrophotographie Ebenda 64, 211 (1928) 196 220
- ELVEGARD, E., H STAUDE u F WEIGERT (1) Über monochromatische Lichtfilter II Zur Anwendung des Spektroidentograph von GOLDBERG Z physik Chem 2 Abt B, 149 (1929) (I s bei WEIGERT) 141
- EMMERICH s u MÖLLER & E 5
- ENGELKENSche Entwickler 115, 117
- ENGLISH, L s u R RUSS
- Enzyklopadie der mikroskopischen Technik (1) Begr von P EHRlich, R KRAUSE und M MOSSE Herausgeg v R KRAUSE, 1, 2 u 3 Berlin-Wien Urban & Schwarzenberg 1926/27 25<sup>1</sup>
- EPENSTEIN, O s u S CZAPSKI
- ERDMANN, RH (1) Praktikum der Gewebepflege oder Explantation besonders der Gewebezucht, 2 Aufl Berlin Julius Springer 1930 334<sup>1</sup>
- ERNEMANN s u KRUPP-L 372
- sein mikrokineographischer Apparat 376 379 +322, seine Hochfrequenzkammer 382
- EWALD, W s u H FRIES
- FAYEL, Ch., seine mikrophotographischen Aufnahmen 5
- FERK, FR W (1) Der Schmalfilm Berlin G HACKEBEL 1929 364
- FISCHER, A (1) Die Gewebezucht, 3 verm Ausg Munchen R Muller 1930 331<sup>1</sup>
- FITTING, H (1) Über Wasserimmersionen mit Fassungen aus rostfreiem Stahl Z Mikrosk 44, 478 (1927) 38
- FLATTERS & GARNETT, ihre Lithographischen Spiegel aus Vulkanit 229
- FLIMMING, F Dr u Dr med 5
- scheinbar in der Literatur
- FLORSCHÜTZ, in der Literatur zur Vorführung Kinematogr Rdsch (in Photogr Rdsch) 64, 57 (1927) 371
- FLUGGE, J (1) Die Systemwahl bei der Mikrophotographie Z Mikrosk 48, 367 (1931) 183
- FOIRE K Über den Einfluß der Lichtart auf Farbtonwerte und Filterfaktor Photogr Rdsch 63, 96 (1926) 112
- FORMSTRECKER, F Handbuchbeitrag 60
- FOUCAULT, der Heliograph DONNE 1
- FOUCAULTs Gläserne Polarisationsprismen 275
- FOUCAULTscher Regulator für selbsttätige Belichtung oder Filmvorführung 379
- FRANÇOIS-FRANK, L Dispositif pour la microphotographie et la microcinematographie biologiques C r Acad Sci 184, 1005 (1927) 358<sup>1</sup>

- FRANÇOIS-FRANK, L., sein Zeitraster nach CHEVRE-  
TON und VLBS 379
- FRANCOOTESCHER Apparat für senkrechte Mikroskope 6
- FRAENKEL, C., u R. PREIFFER (1) Mikio-  
photographischer Atlas der Bakterien-  
kunde 2 Aufl. Berlin Hirschwald  
1895 6
- FRANZ, V. (1) Photographien mit ultra-  
violetterm Lichte I Z Mikiosk 27,  
41 (1910) 306
- FREY, A., s u H. AMBRONN
- FRIES, H., u W. EWALD (1) Über Metho-  
den und Anwendungen der Kinemato-  
graphie in der Technik und Wissen-  
schaft Z Instrumentenkd 47, 536  
(1927) 360
- FRITZSCH, G. (1) Beitrag zur Kenntnis der  
mikroskopischen Photographie Licht  
Z Photogr 1 (1869) 4
- (2) Über das stereoskopische Sehen  
im Mikroskop und die Herstellung  
stereoskopischer Mikrotypen auf pho-  
tographischem Wege Festschr. zur  
Feier des 100-jähr. Bestehens Ges.  
Naturforsch. Freunde Berlin, 4<sup>o</sup>, 75 S.,  
6 Abb. u. 6 Stereogramme Berlin  
1873 264
- FUESS, R.  
seine Druckschrift  
Mm 3 142 f59  
sein Monochromator 141<sup>1</sup>, sein Opakilluminator mit  
einem Leuchtlicht in Jb 24 s. 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000
- GARNIER, s u FLATTIER & G.
- GAUDIN, seine Trockenplatten mit einer Jodsilber-  
kollodiumschicht 3
- GAUMONT, sein kleiner mikrokinetographischer  
Apparat 9
- GEHARDT, W. (1) Mikrostereogramme  
bei starker Vergrößerung Photogr.  
Rdsch 11 (1897) 265
- (2) Aus optischen und mecha-  
nischen Werkstätten I u II Z Mi-  
kiosk 24, 396 (1907), 25, 452 (1908)  
211
- GEHARDTSCHE Lochblende 265
- GERLACH, J. (1) Die Photographie als  
Hilfsmittel mikroskopischer For-  
schung Leipzig W. Engelmann 1863  
2, 3
- GERLACH, J., zur die Entwicklung der Mikrophoto-  
graphie wichtig 3
- GERLACHSCHE Schmalblende von 16 mm Breite 363,  
Rohfilm 366, empfindlicher Film 366
- GEYER, seine Cine Geyer Kamera 361, sein GEYER  
Projektor 365, sein Rohfilm 366
- GRÄFELHORN, J. u R. KELLER (1) Über  
direkte Rasteraufnahmen bei Mikro-  
photographien Z Mikiosk 42, 61  
(1925) 117
- GILMANS Färbung 170 f76, 392
- VAN GILSONS Färbung 139, 392, 395
- GIAN THOMPSONSCHE Polarisationsprismen 275, 279  
s u BOUTAUPE
- Goby, P. (1) Methode et appareil pour la  
microradiographie La Photographie  
1913, 158 315
- GUERZSCHEI Hypergon-Doppelnastigmat 197  
— Rohfilm 366  
— Dochtöhlen 372  
— Kohlenbogenlampe 374, s u HARN-G 353
- GOLDBERGSCHE Graukarte 171 f77 u ff
- GOLDSCHMIDT, R. (1) Das Nerven-system  
von Ascaris lumbricoides und megaloc-  
cephala III Teil Festschr. zum  
60. Geburtstage R. HERTWIGS 2, 255  
(1910) 397, 398 f239
- GOLGI, Präparat nach ihm 272, 391
- GOLGISCHE Apparate 390, 393, 400
- GOLTZ & BREITMANN'S Mikroreflexkammer 167
- GORDON, J. W. (1) Contribution to the  
discussion on the ABBE theory J  
microsc. Soc 49, 123 (1929) 191
- GRAMSCHE Färbung, die 393
- GRÄPER, L. (1) Die Methodik der  
stereokinematographischen Untersu-  
chung des lebenden vitalgefärbten  
Hühnerembryos Roux' Arch 115,  
523 (1929) 366, 373, 374, 379
- GRÄPER, L., sein Zeitraster 379
- GREENOUGH, H., nach ihm benannte beidäugige Pra-  
pariermikroskope 257, 257 f158
- GREIL, A. (1) Über die Verwendung des  
NERNSTSCHEN Glühlichts in biologi-  
schen Laboratorien nebst Bemerkun-  
gen über die photographische Auf-  
nahme von Embryonen Z Mikiosk  
23, 257 (1906) 741, 220
- GREINISCHE Lampe 222
- GRINACHERSCHE Färbung mit Boraxkarmin 131
- GROSS, F., seine Aufnahme von Aitenu salina 348  
f217
- GROSSSCHE Polarisationsprismen 275
- GROSSER, O. s u L. L. Mikrophot. 1911 7
- GRÜBLER, seine Kamera mit s. Zeitraster 40
- GRÜNPAN-AMMELT, Deutsche Spiegelglas-AG 372
- GULLSPRANGSCHE Spalllampe 228
- GYE, W. E. (1) The aetiology of malig-  
nant new growths Lancet 209, 109  
(1925) 306
- GILL, W. E. s u J. B. BARNARD 306
- HADJIOLOFF, A. (1) Die Aktinoluminis-  
zenzerscheinungen an Geweben, un-  
tersucht mittels gelilterter ultravio-  
letter Strahlen Woodsches Licht und  
seine Anwendung in Histologie und  
Medizin Jb Univ. Sofia, Med. Fak 9,  
1 (1930) (Bulgarisch mit franz. Zu-  
sammenfassung) 308, 312
- HAGER, H. (1) Das Mikroskop und seine  
Anwendung Neu herausgeg. von Fr.  
TOBLER in Gemeinschaft mit O. APPEL,  
G. BRANDES und E. K. WOLFF, 14.  
umgearb. Aufl. Berlin Julius Sprin-  
ger 1932 131
- HARN-GOLGISCHE Spiegel-Kohlenbogenlampe 353  
f220a-c, 372
- HARTING, M. (1) Ein licht-starkes Fluor-  
escenz-Mikroskop Mikrochemie 9,  
430 (1931) 311 f196
- HARTING, M., seine Fluoreszenzaufnahmen mit  
kurzer Färbung 309, 311 f196, sein Sperrfilter  
312, sein Filter mit Filter 312
- Handbook of microscopical technique,  
(1) ed. by C. E. MONTAGNE New York  
P. B. HOFBER 1928 251

- Handbuch der mikrobiologischen Technik, (1) herausgeg v R KRAUS u P UHLENHUTH, 1, 2 u 3 Berlin-Wien Urban & Schwarzenberg 1923 bis 1924 328<sup>1</sup>
- HANEMANN, H, u A SCHRADER (1) Atlas Metallographicus Berlin Gebi Bornträger 1927 254 †155
- HANEMANNsche Aufnahme 254 †155
- HANNEKE, P (1) Neue Diapositivplatten für farbige Tonung durch Entwicklung Photogr Rdsch 63, 346 (1926) 125, 126
- HARRISON, G R, seine Plasmakulturen 335
- HARTING, P (1) Das Mikroskop, 2 Aufl, 1, 2 u 3, übersetzt v W THELE Braunschweig F Vieweg & Sohn 1866 1<sup>1</sup>, 4, 5
- HARTIGDS Immersionsflüssigkeit 41
- HAUER, M (1) Grundzüge der Mikrophotographie Leipzig H Wigand 1882 5
- HAUSER, F (1) Dunkelfeldbeleuchtung im auffallenden Licht Dtsch opt Wschr 11, 185/87 (29 März 1925) 183, 238
- (2) Hilfsmittel für die Mikroskopie im auffallenden Licht bei biologischen Untersuchungen Z Mikrosk 42, 281 (1925) 218
- (3) Ein Schräglicht-Illuminator für Opakbeleuchtung Z Instrumentenkde 49, 496 (1929) 236, 237
- (4) Zur Systematik der Auflichtbeleuchtung Z Mikrosk 48, 63 (1931) 218
- (5) Neue Geräte für die Beleuchtung mikroskopischer Objekte mit auffallendem Licht Zeiss-Nachrichten 1932, Heft 2 und 1933, Heft 3 183, 242<sup>1</sup>, 244 †142, 245 †143 u †145, 246, 247 †147, 248 †148
- HAUSLER, sein Schräglichtilluminator 236 †132, sein Dunkelfeldkondensor für Auflicht 235 †135
- HAUSER, F u L MOHR (1) Eine universelle Beleuchtungsanordnung für Übersichtsaufnahmen opaker Objekte Z Mikrosk 46, 392 (1929) 223
- HAUSER u MOHR ihre Beleuchtungsanordnung 225
- HAY, A (1) Über die Verwendung des Osiam-Beleuchtungsmessers im Dienste der Photographie Photogr Korresp 64, 69 (1928) 107<sup>1</sup>
- s a unter Photographisches Praktikum
- HEINER Keizen für das 1 leuchtende Flächen 17
- HEINERsche Vertikalkammer 58 †24, 60, 149, 166 221<sup>1</sup> 255
- HEINERHAHN, M, sein Färbungsverfahren 132, 393
- R, seine Objektträger 295, seine Chromiumtoxylinfärbung 393
- HRIM, L (1) Hilfsmittel für Mikrophotographie um nicht verdunkelten Raum BI Untersuch- u Forschungsinstr 2, 43 (1928) 80
- HIMMEL, L, u FR SKELL (1) Anleitung zur Mikrophotographie usw Jena G Fischer 1931 27 †8, 77 †32 80 †38 179 †84, 180
- HEIMSTADT, O (1) Das Fluoreszenzmikroskop Z Mikrosk 28, 330 (1911) 311
- (2) Apparate und Arbeitsmethoden der Ultramikroskopie und Dunkelfeldbeleuchtung Handb d mikrosk Technik (Mikrokosmos) Stuttgart Francksche Verlagshdlg 1915 199
- HEINE, H (1) Mikroskop-Aufsatzkamera zur vereinfachten Herstellung mikrophotographischer Aufnahmen Z Mikrosk 42, 307 (1925) 173
- (2) Der Ultrapak Ebenda 48, 450 (1932) 239, 240<sup>1</sup>
- HEIND, H, sein Ultrapak 238, 239 †136 u †137
- HENSOLT, sein Protam 367<sup>1</sup>
- HERZOG, A (1) Über die Verwendung des auffallenden Lichtes bei der mikroskopischen Untersuchung von Textilien und Papieren BI Unters- u Forschungsinstr 3, 57 (1929) 249, 254 †156, 255
- HESS, W R (1) Die Verwendung des Schmalfilms für biologische Zwecke Im Handb biol Arbeitsmethod (ABDERHALDEN), Abt II, Tl 2 Berlin-Wien Urban & Schwarzenberg 1929 352, 364, 373
- HEURCK, H VAN (1) La lumière électrique appliquée aux recherches de la micrographie Bull Soc Belge Microsc 1881/82 und J Microgr 7, 244 (1883) 6<sup>1</sup>
- (2) Le Microscope, sa construction, son maniement, la technique microscopique en général, la photomicrographie, le passé et l'avenir du microscope Anvers et Bruxelles Ramlot 1891 2
- VAN HEURCKS Vertikalkammer 180 185
- HEYN, E, u O BAULR Metallographie Sammlung Goschen Nr 432—433 250
- HIMMELWIT, FR, seine Mikroaufnahme 200 †103
- HIMMLER O
- seine Druckschriften
- Musterschutzschrift 263 †164
- Prospekt P 1909 263 †165
- sein LILIBERKUNDScher Spiegel 229, seine Mikrostereokammer nach R SCHMIDTKE 261, seine mikrophotographische Einrichtung mit der Wippe 263 †164 u †165 263 4
- HIRT A s u PH EITINGER
- HIS, W (1) Über das Photographieren von Schnittreihen Arch f Anat Abt 1887, 174 7
- HIS, W Vertikut der Mikrophotographie 7
- HOCHSTATLER, F (1) Über eine Abänderung des Objektträgers der von GRIM angegebenen Einrichtung zur photographischen Aufnahme der Oberfläche von Enden u bei schwacher Vergrößerung Z anat f anat Forschg 26 (Festschrift f SCHWALLER) 309 (1931) 26<sup>1</sup>

- HOFFER, K (1) Kinematographie und Mikrokineematographie Methodik d wiss Biol 2, 456 352, 360 †225, 361 †226, 365<sup>1</sup>, 367<sup>1</sup>, 379 †232, 382 †233, 383 †234
- (2) Ein neues mikrokineematographisches Aufnahmegegerat Z Mikrosk 49, 1 (1932) 355 †221, 376<sup>1</sup>
- HOFFMANN, E (1) Die als Leuchtfeldmethode bezeichnete Art der Dunkel-felduntersuchung Handb d mikrobiol Technik (KRAUS u UHLENHUT) 1, 70 Berlin-Wien Urban & Schwarzenberg 1923 199
- HOLETZ, F (1) Ein neuer mikrophotographischer Apparat Z Mikrosk 45, 182 (1928) 179<sup>1</sup>
- HOLLBORN, Prüfung saurer Reaktion des Immersionsols 40<sup>1</sup>
- HOLMGREN, B, Verteiler der Mikrophotographie 7
- HOOKEsche Schluskel beim FRITSCHschen Apparat 4, bei der ZEISSischen Horizontalkamera 157, 158
- † 100 bei der FRITSCHschen Apparat 104 † 101 bei der ZEISSischen Apparat 104 † 100
- HORN, W (1) Über die LIEBERKUN-schen Spiegel Bl Untersuch - u Forschungsinsti 1 (1927) 228
- HOWELL s u BELL & H 264
- HÜBISCH Glyzinentwickler 116<sup>1</sup>, Lichtprüfer 133
- V HÜBL, A, Zur Farbe künstlicher Lichtquellen 133, Einführung der Farbstoffdichte 137, Urteil über Glasfilter 140
- HUGUENARD E, et A MAGNAN (1) Sur un cinématographie ultra-rapide de 2000 à 3000 images par seconde C r Acad Sci 192, 1370 (1931) 382<sup>1</sup>
- HUTH W (1) Eine neue Stereoskop-kamera für das binokulare Präparat-mikroskop Z Mikrosk 28 321 (1911) 258<sup>1</sup>
- HUYGENSche Okulare 42ff
- HUGEL, sein Vergrößerungsapparat 124<sup>1</sup>
- JAENSCH, W, u Mitarbeiter (1) Die Hautmikroskopie Halle Marbold 1929 228, 366
- JAENSCH, W, Aufnahmen von Kapillaren am Nagel-nail 227 †124
- JENTZSCH, F (1) Über Dunkel-feldbe-leuchtung (Der konzentrische Kon-densor) Verh dtsh phys Ges 12, 975 (1910) 199, 204 auch †107
- (2) Handb d mikrobiol Technik, Ultramikroskopie und Dunkel-feldbe-leuchtung (KRAUS u UHLENHUT) 1, 49 (1922) 191, 199
- (3) Grenzen der Mikroskopie Be-ginn der Molekuloptik Z Mikrosk 47 145 (1930) 191
- JENTZSCHs konzentrischer Kondensor 204 †107
- JENTZSCHs Eintritt im Kalklicht 6
- JENTZSCHs Quecksilberquarzlampe 373 374<sup>1</sup>
- JOHN K (1) Über ein Verfahren zur Er-zielung guter Mikrophotographien von weniger guten Präparaten Z Mikrosk 44 470 (1927) 394
- JOHNSON B K (1) Some introductory dealing with a quantitative method of determining the resolving power of microscope objectives J Microsc Soc 48, 144 (1928) 19<sup>1</sup>
- JUNG, G, Handbuchbeitrag 60
- JURGENSE, E (1) Photographische Auf-nahmen im Ultraviolett und Ultrarot Kiminal Mh 5, 173 (1931) 309, 312
- JUSTIN-BESANÇON, L s u I BERTRAND
- KAHLER, F (1) Über Mikrophotographie opaker Gegenstände bei schwacher Vergrößerung Z Photogr 24, 361 (1927) 220
- KAISERLING, C (1) Die mikrophotogra-phischen Apparate und ihre Handhabung Stuttgart Francksche Ver-lagsanstalt 1918 1, 266
- (2) Mikrophotographie in Enzyklo-padie d mikroskopischen Technik, Bd II 1, 266
- KAISERLING, C, Handbogenlampe 66, sein stereosko-pisches Verfahren mit Spiegeldrehung 266
- KANN, S s u F SCHEMINSKY
- KATZNELSON, Z S (1) Mikrophotogra-phie ohne Photokamera Z Mikrosk 47, 216 (1930) 21
- KELLER, R s u J GICKLHORN
- KELINRSche Okulare 42ff
- KIESER K, s u P LIESEGANG (1)
- KINDERMANN & Co, ihre Amato Dosen 119
- KLEINSches Verfahren zur Achsenbilder 287
- KLINGELFUSsches Induktorium 298
- KLUGHARDT A (1) Mikrophotographi-sche Dunkel-feldaufnahmen von Pa-pieren und Geweben Bl Untersuch - u Forschungsinsti 1 (1927) 239
- KNOOPS Agar 320
- KNUSEL, V, u P VONWILLER (1) Vitale Farbhungen am menschlichen Auge Berlin Kaiger 1928 227
- KOCH, R (1) Zur Untersuchung von pathogenen Mikroorganismen Mitt Reichsges amts 1, 1 (1880 81) 5
- KOCH, R, benutzt den FRITSCHschen Apparat 5 Ver-trieber der Mikrophotographie 7
- KODAK seine Lustrirolle 123, seine Filterrollen 139, seine Mikrokinekamern 360, sein 16 mm breiter Schmalfilm 363 Safety Film 364, sein Cine-Kodak-Modell 364, sein Kodascope 365, sein Roh- sein panchromaticher Film 366
- KOCEL, G (1) Über eine neue Vorrich-tung zur Photographie von Lumineszenzerscheinungen Photogr Korresp 64, 12 (1928) 309
- (2) Die aquimensurale Ultraviolett-und Fluoreszenzphotographie Handb biol Arbeitsmethoden (ABDERHAL-DEN), Abt II Tl 2, H 7 Liefg 258 Berlin-Wien Urban & Schwarzenberg 1928 308 311
- (3) Über die neuesten Verbesser-ungen des Lumineszenzmikroskops Biol generalis 5, 665 (1929) 308 311
- (1) Die Fluoreszenzanalyse Hand-buch d Pflanzenanalyse herausgeg v G KILIN I 401 Wien Julius Springer 1931 308 309 311 312

- KOHLER, A. (1) Ein neues Beleuchtungsverfahren für mikrophotographische Zwecke *Z Mikrosk* 10, 433 (1893) 6, 75, 245
- (2) Mikrophotographische Untersuchungen im ultravioletten Licht *Ebenda* 21, 129, 273 (1904) 294, 304
- (3) SWINGLES Einstellverfahren für die Mikrophotographie mit ultraviolettem Licht *Ebenda* 24, 360 (1907) 301
- (4) Methoden zur Prüfung der Lichtbrechung von Flüssigkeiten für homogene Immersion und Beschreibung einer Mikroskopierlampe für Natriumlicht *Z Mikrosk* 37, 177 (1920) 40
- (5) Die Aufnahme von Spektren mit der mikrophotographischen Kamera *Ebenda* 41, 167 (1925) 129
- (6) Das Mikroskop und seine Anwendung *Handb d biol Arbeitsmethoden* (ABDERHALDEN), Abt II, Tl 2 Berlin-Wien Urban & Schwarzenberg 1925 1, 13, 161
- (7) Die Verwendung des Polarisationsmikroskops für biologische Untersuchungen *Ebenda*, Abt II Berlin-Wien Urban & Schwarzenberg 1926 274, 286, 287, 290, 2911
- (8) Mikrophotographie *Ebenda*, Abt II, Tl 2 Berlin-Wien Urban & Schwarzenberg 1927 1, 45, 67, 86, 89, 98 †49, 99, 1001, 105 †52, 107, 1101, 114, 117, 118, 120, 128, 138, 161, 184, 218, 262 †163, 264, 269, 270 †172 u †173, 274, 2912, 293, 295 †190, 308, 344
- (9) Allgemeine mikroskopische Optik *Method wiss Biol* 1, 363 (1928) 1, 13, 141, 171, 181, 191, 192, 301, 31 †10, 33 †12, 401, 41, 47 †17, 231 †128, 232, 255, 262 †162, 264 †167, 266 †168, 293, 308, 326
- (10) Neuerungen auf dem Gebiet der Mikrophotographie mit ultraviolettem Licht *Naturwiss* 21, 165 (1933) 2941, 2971
- KOHLER, A., SCHWENCK, H. & ST. FR. D. L. 138, sein Verfahren zur Bildung der Abbildung, zur Betrachtung eines Strichogramms der Augenhäute gleichzurichten 2731
- KOHLER, A. u. M. v. ROHR (1) Eine mikrophotographische Einrichtung für ultraviolettes Licht *Z Instrumenten- und 24, 341 (1904) 299*
- KOHLER, A., s. u. H. BOEGEHOLD
- KOHLER, FR. (1) Mikrokymatographie und biologische Filmaufnahmen *Handb d biol Arbeitsmethoden* (ABDERHALDEN) Abt II, Tl 2, 1109 Berlin-Wien Urban & Schwarzenberg 1926 65 Tab 10, 352, 3711
- KONIGSBERGER, J. (1) Methoden zur Erkennung submikroskopischer Strukturen *Z Mikrosk* 28 34 (1911) 274
- KOEPPE, L. (1) Die biophysikalischen Untersuchungsmethoden der normalen und pathologischen Histologie des lebenden Auges *Handb d biol Arbeitsmeth* (ABDERHALDEN), Abt V, Tl 6 Berlin-Wien Urban & Schwarzenberg 1920 227
- KÖRTING & MATHIESEN Preisblatt 8665 67 †29
- selbstregulierende Uhrwerklampen 681, Projektionslampen (Modell EGM II) 372
- KRAFFT s. u. SEIBERT & K 5
- KRAFT, P. (1) Ontogenetische Entwicklung und Biologie von Diplograptus und Monograptus *Palaontol Z* 7, H 4 (1926) 313, 314, 315
- (2) Neue optische Wege in der Mikrophotographie und Mikroskopie im Dienste der Geologie und Paläontologie *Z dtsh geol Gesellschaft* 84, 651 (1932) 313, 314, 315
- KRAFT, P., seine Intraotiditen 315
- KRÜGER, O. (1) Die Illustrationsverfahren Leipzig F. A. Brockhaus 1929 1441
- KRUIS, K. (1) Mikrophotographie der Strukturen lebender Organismen, insbesondere der Bakterienkerne, mit ultraviolettem Licht *Bull internat Acad Sci Bohême* 1913 Referiert in *Z Mikrosk* 30, 211 (1913) 306
- KRUPP-ERNEMANNsche Spiegel Lampen 372
- KUHL, W. (1) Ein einfacher Apparat zur schnellen Herstellung von Diapositiven nach Kinofilmnegativen, im besonderen geeignet für Mikroaufnahmen auf Kinofilm *Z Mikrosk* 47, 211 (1930) 3511
- KULL s. u. ALTMANN K 393
- KUNTZEL, A. (1) Die Verwendung auffallenden Lichts bei mikroskopischen Lederuntersuchungen *Bll f Untersuch- u. Forschungsmstr* 5 6 (1931) 239
- KUSTER, E. (1) Kultur der Algen und Pilze *Methoden wiss Biol* 2, 315 (1928) 3281
- LAMB, F. W. s. u. G. L. BROWN
- LANDOLT, Durchlässigkeit flüssiger Lichtfilter 134 Tab 14
- LASCAUSCHES Verfahren zur Achsenbilder 287
- LAUBENHEIMER, K. (1) Lehrbuch der Mikrophotographie und Mikroprojektion, 2 Aufl. Berlin-Wien Urban & Schwarzenberg 1931 1 255
- LE CHATELIER, Anlage eines großen Mikrofilmprojektor 251 †151, 254
- LEHMANN, E. (1) Drei praktische Mikroskopierlampen *Dtsch opt Wsch* 12, 97 (1926) 621
- (2) Die Punktlichtlampe *Z Mikrosk* 43, 247 (1926) 621
- LEHMANN, H. (1) Das Lumineszenzmikroskop seine Grundlagen und seine Bedeutung *Z Mikrosk* 30 417 (1913) 308 309 311
- (2) Die Kymatographie 2 Aufl. besorgt von W. MERTE Leipzig Berlin B. G. Teubner 1919 360

- [illegible]



- MARCUS, H. (2) Ueber den feineren Bau des menschlichen Herzmuskels I Z Zellforsch 2, 203 (1925) 306 307
- MAREY, E J. (1) Le mouvement du cœur, étudié par la chronophotographie Le moniteur de la photographie 1892, 162 358<sup>1</sup>
- MAREY, E J., wissenschaftlicher Begründer der Kinetographie 358<sup>1</sup>, sein Institut 379
- MARSHALL, J F. (1) A new form of apparatus for photographing insects Bull entomol Res 21, 139 (1930) 224, 225 †120
- MARTINI, P., sein kleiner Doppelspiegel nach H. PLETT 223
- MASCARTSche Bezeichnung der Kadmiumlinie  $\lambda = 275 \text{ m}\mu$  297
- MAHLESEN s u KÖRTING & M
- MAYER, sein mikrophotographischer Apparat 1 †1
- MAYER, P. (1) Zoommikrotechnik, die Sammlung naturwissenschaftl. Praktika, 9 Berlin Gebi. Bornträger 1920 25<sup>1</sup>
- MAYER, P., Färbung mit Karmalaun 131
- MAZUSCHER Bazillus 351 †219
- MAZURKIEWICZ, L. u H. BUKOWIECKI (1) Photomicrography in the dark Acta Biol exp Waiszawa 4, 287 (1930) 316
- MEER, C K K., seine Filterfolien 139
- MEISSNER, H. (1) Mikrophotographie ohne Photokamera Z Mikrosk 47, 482 (1930) 21
- MERCK, sein chemisch reines Zedernöl 40
- MERTZ, W., s u H. LEHMANN (2) Methodik der wissenschaftlichen Biologie (1) Unter Mitwirkung von zahlreichen Fachleuten herausgeg. von T. PETERF. 1 u 2 Berlin Julius Springer 1928 25<sup>1</sup>
- MEIZNER, P. (1) Die Selbstanfertigung einer Polarisationsrichtung für das Mikroskop Mikrokosmos 7, 235 (1913/14) 275, 311
- (2) Mikroradiographie als Forschungsmethode Ebenda 11, 12, 36 (1917/18) 315
- (3) Zur Mechanik der Geißelbewegung Biol Zbl 40, 49 (1920) 214
- (4) Das Mikroskop, herausgeg. von A. ZIMMERMANN Leipzig-Wien Deuticke 1928 1, 13<sup>1</sup>, 17<sup>1</sup>, 48<sup>1</sup>, 50 †19, 54<sup>1</sup>, 139, 229, 232, 260, 263, 273, 315, 348<sup>1</sup>, 360
- (5) Ein einfaches Fluoreszenzmikroskop Z Mikrosk 45, 51 (1928) 308, 311
- (6) Ueber einen Parahol-Spiegel für Beobachtungen im auffallenden Licht Ebenda 46 233 (1929) 229, 311
- (7) Einfache Einrichtungen zur Fluoreszenzmikroskopie und Fluoreszenzmikrophotographie Biol generalis 6, 415 (1930) 308, 309, 311
- MILNICK, P. sein Verfahren bei mikrophotographischen Aufnahmen 315 seine derartigen stereoskopischen Aufnahmen 316 sein Zeitraster 379
- MEYER, A., s u F. RAPATZ
- MOHR, L., s u F. HAUSER u M
- MOHRsche Salz 70, MOHRsche Lösung 71, 237, 372
- MOITTESSIER, A. (1) La photographie appliquée aux recherches micrographiques Paris J. Bailliere 1866 3 264
- MOITTESSIER, A., von großer Bedeutung für die Mikrophotographie
- MOLLAT u IMMERSCH, ihre mikrophotographischen Aufnahmen 5
- MONYFENNY, J H G. (1) Die Photographie im Dienste der Metallindustrie Aus dem Sammelwerk Die Photographie in Wissenschaft u Praxis Deutsche Ausgabe von A. HAY Leipzig-Wien Deuticke 1929 249
- MOORE, H. (1) The mode of formation of the image in the microscope J. Microsc Soc 48, 133 (1928) 19<sup>1</sup>
- (2) Mode of formation of the image in the microscope Ebenda 49, 253 (1929) 19<sup>1</sup>
- MÜLLER, O. (1) Die Capillaren der menschlichen Körperoberfläche in gesunden und kranken Tagen Stuttgart Enke 1922 227, 228
- MÜLLER, R. (1) Einfacher Objekthalter für Mikrophotographie Vergrößerungstabelle Z Mikrosk 27, 265 (1910) 198<sup>1</sup>
- MÜLLERSches Fixierungsmittel 313
- NACHT, A., wichtig für die Weiterentwicklung der Mikrophotographie Verwendung eines lichtelektrischen Systems auch für Momentaufnahmen u. d. des umgekehrten Mikroskops 182<sup>1</sup>, sein Vertikalilluminator 230, 231 †128, 234 235
- NAGELI, C. u S. SCHWENDENER (1) Das Mikroskop, 1 u 2 Teil, 2 Aufl. Leipzig W. Engelmann 1877 1<sup>1</sup> 182<sup>1</sup>
- NATHANSONScher Planktonkondensor 211
- NAUMANN, E. (1) Ein Instrumentarium für Summa-Momentphotographie Z Mikrosk 41, 90 (1924) 346<sup>1</sup>, 349
- (2) Eine einfache Anordnung für Momentmikrophotographie Ebenda 41, 91 (1925) 346<sup>1</sup>, 348 349
- NAUMANN, H. (1) Mikrokinematographische Aufnahmen von Kristallen Kinetisch Rundschau 63, 17 (1926) 354<sup>1</sup>
- (2) Kinematographie als Forschungsmittel Ebenda 63, 40 (1926) 352
- (3) Mikroaufnahmen wachsender Kristalle Photogr Rundschau 63, 113 (1926) 354<sup>1</sup>
- (4) Zur Helligkeit mikroskopischer Beleuchtungsanordnungen Z. Instrumentenkde 49 177 (1929) 308, 312
- (5) Eine Einrichtung zur Beobachtung von Fluoreszenzerscheinungen Biol Unters - u. Forschsmstr 3 21 (1929) 308 †191, 309 310, 312
- NAVIEL, A. s u T. PETERF.
- NEERST Lampen nicht mehr zu bekommen 71
- NEELI, sein Mikrophotokamera 167

- NEUHAUSS, R (1) Lehrbuch der Mikro-  
photographie, 3 Aufl Leipzig S  
Hirzel 1903 1, 1 †1, 1, 62
- (2) Mikrokineatographische Auf-  
nahmen Photogr Rdsch 50, 374  
(1913) 358<sup>1</sup>
- NEUMANN, F (1) Die Sichtbarmachung  
von Bakteriengeißeln am lebenden  
Objekt im Dunkelfeld Zbl Bakter,  
Abh I 96, 250 (1925) 214
- (2) Die Sichtbarmachung von Bak-  
teriengeißeln am lebenden Objekt im  
Dunkelfeld II Ebenda, Abh I 109,  
143 (1928) 214
- (3) Die Grunde der Sicht- bzw  
Unsichtbarkeit der Bakteriengeißeln  
im Dunkelfeld Ebenda, Abh I 110  
192 (1929) 214
- NELT, A, seine  
NICHOLSON, V i i M i i i i i o  
graphing living insects Bull entomol  
Res 22, 307 (1931) 224<sup>1</sup>
- NICOLSE Polarisationspismen 275 ff, 275 †175
- NIEPOU DE ST VICTOR, seine lichtempfindliche Ei-  
weißschicht auf C 144
- NISSE, Fr, Vertreter " " 7
- NISSE'sche Schollen 307
- NOAK, K L (1) Weitere Untersuchungen  
über das Wesen der Buntblattnigkeit  
bei Pelargonien Verh physik-med  
Ges Würzburg, N F 50, 47 (1925)  
311
- (2) Der Zustand des Chlorophylls  
in der lebenden Pflanze Biochem Z  
183, 135 (1927) 311
- OHV'sches Gesetz 69
- ORULA beobachtet die Durchlässigkeit der Neuro-  
nellen für UV Licht 397<sup>1</sup>
- OSRAM  
seine Druckschrift  
Liste 19 61 †27  
seine Punktlichtlampe 60 62<sup>1</sup>, seine NIRA Lampe  
171, seine Baulampen 74, sein Beleuchtungsmess-  
107<sup>1</sup>
- PATHE, sein kleiner makrophotographischer Apparat  
9 360, Apparat mit Uhrwerk 362, sein Bébé  
Film 364, seine Bébé Kamera 364, sein 9,5 mm-  
Schmalfilm 365 †230, sein Rohfilm 366 Film-  
intumable 367, sein Zeitstrahl 379
- PIPER'sches Zählverfahren 209 †102
- PIPERIZ O, sein Beleuchtungsmess- 107<sup>1</sup>, seine Platten-  
arten 116<sup>1</sup>, 117 125 216, 292 306 342, sein Form-  
kommentwickler 116<sup>1</sup>, sein 16 mm breiter Schmal-  
film 363 sein Rohfilm 366, empfindlicher Film  
366
- PILLET T (1) Die Präparierwechsel-  
kondensoren und ihre Handhabung  
bei Dunkelfeldmanipulationen Z  
Mikrosk 43 186 (1926) 210 327<sup>1</sup>
- (2) Die heizbare leuchte Kammer  
Ebenda 44, 296 (1927) 327
- PRIFFERT, T, u A NAVILLE (1) Die W-  
kung des Kernanstriches auf das Proto-  
plasma der Amoeba sphacelomul Pro-  
toplasma 12, 524 (1931) 353 †220
- PRIFFERT, T u M BERGONZINI (1) Liso-  
lamento dei microrganismi con l'aiuto  
del micromanipolatore Boll Soc  
Biol sper 7 1 (1932) 333 †201, 333<sup>1</sup>
- PÉTERFI, T, s u Methodik usw
- PETERSEN, H (1) Photographie dicker  
Objekte bei mehreren Einstellungen  
Z Mikrosk 41, 365 (1924) 89
- (2) Mikroskopie in gefärbtem Licht  
Ebenda 41, 365 (1924) 140
- (3) Neues über Stufenphoto-  
gramme Ebenda 42, 74 (1925) 89
- (4) Mikrophotographie als graphi-  
sches Problem Verh physik-med  
Ges Würzburg, N F 52, 45 (1927)  
111, 388
- (5) Das Problem der wissenschaft-  
lichen Abbildung und der Preis un-  
serer wissenschaftlichen Bücher und  
Zeitschriften Klin Wschr 8, 745  
(1929) 144<sup>2</sup>
- (6) Die Photographie in der Histo-  
logie Photograph Praktikum, her-  
ausgeg von A HAY 148, 1930 104,  
121, 388
- (7) Histologie und mikroskopische  
Anatomie, 4 u 5 Abschnitt Mün-  
chen J F Bergmann 1931 90 †39a,  
91 †39b, 193 †97
- PETER'sches Einstellverfahren 89/90, 398
- PLTERSEN'sche Warnung, schon bei der Einstellung  
die Präparat im Hinblick auf die Aufnahme zu  
behandeln 392
- PITRIS'sche Schalen 331, 333
- PFEIFFER, H (1) Das Metaphot als Uni-  
versalinstrument für mikroskopische  
sowie mikro- und makrophotographi-  
sche Arbeiten im auffallenden und  
durchfallenden Licht Z Mikrosk 49  
100 (1932) 181
- PFEIFFER, R, s u C FRAENKEL
- PFEIFFER u WELLHEIM, F (1) Über  
Stereoaufnahmen Z Mikrosk 30  
1 (1913) 266, 266 †170, 267 †171
- PFEIFFER VON WILHEIMS stereoskopisches Verfahren  
mit Spiegeldrehung 266
- PHILIPS Wolframhogenlampen 62<sup>1</sup>  
— Baulampen 74
- Photographisches Praktikum für Medi-  
ziner und Naturwissenschaftler, (1)  
herausgeg von A HAY Wien Julius  
Springer 1930
- PIROSKY, J, s u H DAMIANOVICH
- PLETT, H, s u H J RUCÉ
- PLITT II sein Doppelspiegel 223
- PLOTNIKOW, I (1) Photochemische Ar-  
beitsmethoden im Dienste der Biolo-  
gie Handb biol Arbeitsmethoden  
(ABDERHALDEN) III Tl 2 Berlin-  
Wien Urban & Schwarzenberg 1930  
308
- POH J J (u PH WESFELSKY) (1) Stu-  
dien aus dem Gebiete der Megatype  
Handb der gesamten Photographie  
herausgeg von A MARTIN 4 Aufl  
Wien Gerold & Sohn 1854 2
- POUGARD, A (1) Application de la  
spectrophotométrie aux recherches de  
fluorescence histologique (Microspec-  
trophotométrie) Bull Histol appl  
2, 1 (1925) 312



- †23, 58, 61 †26, 83, 84/5 Tab 12, 85, 115, 115<sup>1</sup>, 118, 122, 123 †56, 184, 185 Tab 17, 186 Tab 18, 187 Tab 19, 191 Tab 21, 192 Tab 22, 218, 225 †121, 226
- ROMEIS, B (2) Taschenbuch der mikroskopischen Technik, 14 Aufl München Oldenbourg 1933 25<sup>1</sup>
- ROMEIS's kleine Vertikalkamera 57 †23, 60, 149, 166, 221
- Punktlichtlampe 75
- Tabellen 21 u 22 für Brillenglaskondensoren mit den passenden Objektiven 191/2, Aufnahmetisch 197 †101, 199, sein Verfahren für Objekte in flüssigkeitsgefüllten Glasbehältern 224/5, 225 †121, sein Aufnahmetischchen 225
- ROOD, O N (1) On the practical application of photography to the microscope Sill J (2) 32, 186 (1861) und Quart J microsc Soc, N Ser 2, 261 (1862) 2
- ROSCOE & BUNSEN-R
- ROSENBERGER, H (1) A standard cinematographic apparatus Science (N Y) (2) 69, 672 (1929 I) 359 †224
- (2) A microcinematographic apparatus for the owner of a 16 mm motion picture camera Science (N Y) (2) 71, 266 (1930 I) 359
- ROSENBERGER, H, seine besondere Anordnung der rotierenden Blende 361, das fehlende Einblickrohr 376, 377, sein Zeittratter 379, seine Zeitzeichen mit der Stimmgabel 383, 359 †224
- ROTHE, sein mikrokinetischer Apparat 371
- RUCH (1) 144<sup>1</sup>
- RUSSELL, R u L ENGLISH (1)
- RUGE, H J, u H PLETT (1) Ein einfaches Hilfsmittel zu mikrophotographischen Aufnahmen von kleineren Gegenständen bei schwacher Vergrößerung und auffallendem Licht (Doppelspiegel nach PLETT) Klin Wschr 1929 I, 454 223
- RUSS, R, u L ENGLISH (1) Handbuch der modernen Reproduktionstechnik Frankfurt a M Kilmisch 1927 144<sup>1</sup>
- RUSSELL, C, seine Sensibilisierung mit 4 proz Tanninlösung 3
- SACHS, G (1) Gefügebeobachtungen im polarisierten Licht Z Metallkde 17, 299 (1925) 251
- SANDVIK, O (1) The dependence of the resolving power of a photographic material upon the contrast in the object Photogr J 65 = (2) 52, 313 (1928) 116
- SANL E (1) Extremste Mikroskopie Photogr Korresp 63 131 (1927) 306
- SCHABADACH, A (1) Anwendung von photographischen Objektiven mit kurzer Brennweite für kleine Vergrößerungen Z Anat 86, 505 (1928) 197
- SCHAEDE, R Über die Herstellung von Farbfilmen aus photographischen Platten Ber dtsch bot Ges 41, 343 (1923) 139
- SCHAUM, K (1) Mikrophotographische Aufnahmen im Tubus Z Mikrosk 41, 93 (1924) 2 463
- SCHAUM, K (2) Über einen einfachen Horizontal-Illuminator Ebenda 41, 94 (1924) 222
- SCHAEFFER, W (1) Beiträge zur Mikrophotographie Z Mikrosk 19, 289 (1902) 261
- (2) Beiträge zur Mikrostereophotographie Ebenda 39, 300 (1922) 255, 263
- (3) Die Anwendung der Photographie in der Mikroskopie Handb d mikrobiol Arbeitsmeth (KRAUS u UHLENHUTH) 1 1923 1
- (4) Die Mikrokineematographie Ebenda 1 1923 352, 358<sup>1</sup>, 371<sup>1</sup>
- (5) Über einen neuen mikro-stereophotographischen Okularaufsatz des LEITZ-Wekes für Beleuchtung in auffallendem und durchfallendem Licht Z Mikrosk 43, 235 (1926) 256
- SCHAEFFER, W, sein Spiegelreflexkammer 167, 184 †90 347, seine Spiegelreflexkammer 261, sein Spiegelreflexkammer in der Spiegelreflexkammer 346
- SCHAFER'sche Zahlen 350 366
- SCHERMINZKY, F (1) Ein einfacher Kopierapparat für den PATHÉ-Schmalfilm Z Mikrosk 45, 34 (1928) 363 Tab 27
- SCHERMINZKY, F, u FR SCHERMINZKY (2) Die Anwendung der Wolfram-Bogenlampe (Punktlichtlampe) in der Biologie Protoplasma 3, 302 (1928) 62 Tab 9, 62<sup>1</sup>, 63
- SCHERMINZKY, F (3) Mikrokineematographie Photogr Praktikum, herausgeg von A HAY, 336 1930 65 Tab 11, 352, 363 †228, 364, 365 †230, 377
- SCHERMINZKY, F, u S KANN (1) Die Verwendbarkeit des PATHÉ-Schmalfilms für wissenschaftliche Zwecke, besonders für Mikrokinoaufnahmen Beschreibung einiger neuer Hilfsapparate für die wissenschaftliche Mikrokineematographie Z Mikrosk 45, 11 (1928) 364, 364 †229
- SCHIRMANN A M (1) Ultramikroskopie Handb d biol Arbeitsmethoden (ABDERHALDEN), Abt II, Tl 2, 775 Berlin-Wien Urban & Schwarzenberg 1928 199
- SCHMIDT u SCHILL ihre Maßstreifen aus Papier 1
- SCHMEHLIK, R (1) Ein neues Instrument für wissenschaftliche Photographie Photogr Korresp 63, 39 (1927) 165<sup>1</sup> 263, 264
- (2) Stereoskopische Arbeitsmethoden Handb d biol Arbeitsmethoden (ABDERHALDEN), Abt II, Tl 2 Berlin-Wien Urban & Schwarzenberg 1928 255, 263
- SCHMEHLIK, R seine Mikrostereokammer mit der Wippe 261 265
- SCHMIDT, W J (1) Die Bausteine des Tierkörpers im polarisierten Lichte Bonn F COHEN 1924 274

- SCHMIDT, W J (2) BMP von E LEITZ, Wetzlar, ein Polarisationsmikroskop für Biologen Z Mikrosk 42, 313 (1925) 277
- (3) Die Bedeutung des polarisierten Lichtes für histologische Untersuchungen Arch exper. Zellforsch 2, 205 (1925) 277
- (4) Der submikroskopische Bau der Gewebe, erschlossen aus der Polarisationsoptik Ebenda 6, 350 (1928) 277
- (5) Polarisationsmikroskopie Methodik wiss Biologie 1 1928 274, 274 +174, 275 +175, 287 +185
- SCHNEIDERHOHN, H (1) Anleitung zur mikroskopischen Bestimmung und Untersuchung von Erzen Berlin Selbstverl d Gesellsch Deutscher Metallhütten- u Bergleute 1922 250
- s u C LEISS
- SCHOEPP, H (1) Zur chemischen Kolorierung von Negativen in der Mikrophotographie Photogr Korresp 63, 171 (1927) 119
- SCHOSSLER, M, s u A LEMMEL
- SCHRADER, A, s u H HANEMANN
- SCHOTT & GEN, Das blaue Glas in Tabglas 134 Tab 13, ihr Gebrauch und die Temperatur 138, ihr Kobaltglas 141, — — — — — GG 309, ihr Blautrifer F 3873 325 +200, 325<sup>1</sup>, ihre Hagel-Lampe 374<sup>1</sup>
- SCHROTT, P (1) Leitfaden für Kinooperateur und Kinobesitzer, 6 Aufl Berlin-Wien Julius Springer 1928 367
- SCHROTT, P, Tabelle 11 65
- SCHÜLL s u SCHLEICHLER u SCH
- SCHULTZE, A H, seine frühen Vorarbeiten 1
- SCHULTZE, O seine Chromhamatoxylinfärbung 393
- SCHULTZE-NAUMBURG, B (1) Eine technische Methode zur Bestimmung der Belichtungszeit in der Photographie Z Wiss Photogr 24, 385 (1926, 27) 99<sup>1</sup>
- SCHWARZSCHILDS Exponent 10511, 17111
- SIEBERT u KRAFFT arbeiten mit G FRITSCH 5
- SEIFRIZ, W (1) The Spierer lens and what it reveals in cellulose and protoplasm J phys Chem 35, 118 (1931) 211
- SEILER, J (1) Geschlechtschromosomenuntersuchungen an Psychiden Z med Abst- u Vererbungslehre 18, 81 (1917) 397
- SEILERSche Aufnahme von Chromosomen 398 +240
- SHEARD, CH, s u R ROCKWOOD
- SILTESche Bakterien 192 196 Bakterienkultur 332 +200, Kolonien 333 +207
- SHURLOCK, F W (1) Experimental studies in diffraction J microsc Soc 51, (III) 24 (1931) 19<sup>1</sup>
- SIEDENTOPF, H u R ZSILMONDY (1) Über Sichtbarmachung und Größenbestimmung ultramikroskopischer Teilchen, mit besonderer Anwendung auf Goldnubinglasen Ann Physik 10 (4), 1 (1903) 199
- (2) Paraboloidkondensor eine neue Methode für Dunkelfeldbeleuchtung zur Sichtbarmachung und zur Moment-Mikrophotographie lebender Bakterien usw (insbesondere auch für Spirochaeta pallida) Z Mikrosk 24, 104 (1907) 199
- SIEDENTOPF, H (3) Die Vorgeschichte der Spiegelkondensoren Ebenda 24, 382 (1907) 199, 202
- (4) Über ultramikroskopische Abbildung Ebenda 26, 391 (1909) 199, 202<sup>1</sup>, 211
- (5) Über das Auflösungsvermögen der Mikroskope bei Hellfeld und Dunkelfeldbeleuchtung Z Mikrosk 32, 1 (1915) 19<sup>1</sup>, 199
- (6) Über den Kontrast im mikroskopischen Bilde Verh dtsh pathol Ges 1921 24<sup>1</sup>, 199
- (7) Über die optische Abbildung von Nicht-Selbstleuchtern Z Physik 50, 297 (1928) 19<sup>1</sup>, 199
- (8) On the quality of the image and resolving power in the microscope J roy microsc Soc 49, 231 (1929) 19<sup>1</sup>
- (9) On the theory of the reflecting condensor for darkfield illumination. Ebenda 49, 349 (1929) 199
- (10) Molecularbewegung im Leuchtbild-Ultramikroskop Kolloid-Z 52, 257 (1930) 217
- SIEDENTOPF, H, seine frühen mikrokineematischen Aufnahmen 9, sein photographisches Okular Phoka 167 sein Leuchtfeld- und sein Kardoidkondensor 204 +108, sein Paraboloid-Wechselkondensor 323 +199, 343 +215, bahnbrechende Leistungen für die Mikroskopie 358<sup>1</sup> seine Leitung bei der Verfilmung mikroskopischer Zelloperationen 358
- SIMONSEher Unterbrecher 298
- SKELL, F (1) Stereomikrophotographie bei starker Vergrößerung und ein Mikrostereoptangraph Mikrokosmos (1923/24) 17 265, 266
- (2) Stereomikrophotographischer Beitrag zur Kenntnis der Reifeteilungen im Hoden des Grottenolms (Proteus anguineus) und des Feuersalamanders (Salamandra maculosa) Z mikrosk anat Forsch 13, 1 (1928) 272, 273
- s u L HEIM
- SKOTTIS kleine Vertikalkammer 179 181
- SNELLESches Brechungsgesetz 271
- SLONIMSKI, P (1) Sur les nouveaux liquides d'immersion Bull d Hist appl 2 395 (1925) 11<sup>1</sup>
- SOBOTTA, J (1) Über eine einfache Methode früherer Reproduktion mikroskopischer Präparate Z Mikrosk 27, 209 (1910) 199
- SOBOTTA, J Vertikaler der Mikrophotographie 7 sein Zeichenverfahren 121 100
- SONNFIELD, A (1) Welche optischen Hilfsmittel braucht man mindestens bei der Bildvergrößerung? Photogr Korresp 63 197 (1927) 121
- SORENTRI, C (1) Lumineszenzphotographie der lebenden Kammchenhorn-

- haut Z wiss Photogr 27, 169  
(1929/30) 311
- SALTEHOLZISCHE Präparate 199
- SPANGENBERG, K. (1) Erscheinungen an der Grenze von dünnen Objekten im Mikroskop Z Mikrosk 38, 1 (1921) 290
- SPENCER LENS Co. Tabelle 6 37
- — Katalog von 1929 257 f158
- SPENKE, E. (1) Beitrag zur Formbestimmung mikroskopischer und ultramikroskopischer Objekte Ann Physique 1 (V), 829 (1929) 191
- — (2) Das mikroskopische Hellfeld Ebenda 2 (V), 537 (1929) 191
- SPIERER, C. (1) Ultramikroskop mit zweiseitiger Beleuchtung Z Mikrosk 44, 16 (1927) 211
- — (2) Mehrseitige Beleuchtung im Dunkelfeld Kolloid-Z 51, 162 (1930) 211
- — (3) Über Dunkelfeld-Mikroskopie bei mehrseitiger Beleuchtung Ebenda 53, 88 (1930) 211
- SPIELERSCHE Dunkelfeldanrichtung 238, 330, brauchbare Dunkelfeldbilder bei stärksten Vergrößerungen 239
- STAAR, G. (1) Ein Hilfsgerät zur Herstellung von Lupenaufnahmen Z Mikrosk 45, 188 (1928) 184
- STARK, E., s u F. R. LUCAS
- STAUDE, H., s u E. ELVEGARD
- STEGMANN, A. seine Spiegelschleierkammer 167
- STEMPEL, W. (1) Über die Auflösung feinsten organischer Strukturen durch Mikrophotographie mit ultraviolettem Licht Z physik Chem 67, 203 (1909) 306
- STOHR PH JR. (1) Zur Architektur der Nervenzellen im ultravioletten Mikrophotogramm Verh anat Ges, 32 Veis Heidelberg 1923, 154 306
- — (2) Studien am menschlichen Kleinhirn mit O. SCHULTZES Nationalge-Silbermethode und mit der ultravioletten Mikrophotographie Z Anat 69, 181 (1923) 306, 307
- STORCH, O. (1) Über eine Einrichtung für mikroskopische Zeitdehnenaufnahmen und über die wissenschaftliche Auswertung von Filmaufnahmen Z Mikrosk 46, 21 (1929) 352
- STUDNICKA, H. (1) Eine mikrophotographische Kamera zum Arbeitsmikroskop Z Mikrosk 41, 501 (1924) 179
- STUBB, H. (1) Die Fluoreszenz tierischer Gewebe im ultravioletten Licht Pilgers Arch 142, 1 (1911) 311
- STURENBERG, C., s u O. REICHARDT
- SWINERT, W. T., and L. J. BRIGGS (1) Improvements on the ultraviolet microscope Science (N Y) (2) 26, 180 (1907 II) 301
- SZCZWAR, A. (1) Über die Anwendung einer Beleuchtungsazimutblende bei koaxialer Dunkelfeldbeleuchtung Physik Z 24 91 (1923) 211
- TALBOT, H. F., seine frühen Versuche mit der Mikrophotographie 1
- TAUPENOT, seine trocknen Kollodiumplatten 3
- TEHAOTINE, S. (1) La radiopuncture microscopique des cellules mobiles C r Acad Sci 172, 1679 (1921) 348
- TETTEL-BERNARD, A. (1) Sur une technique de reconstruction microphotographique C r Soc Biol 106, 985 (1931) 891
- TEILO beobachtet die Durchlässigkeit der Neurofibrillen für UV Licht 3071
- THOMPSON, s u GLAN-THOMPSON
- TOBLER, F. (1) Aufnahmen von zwei Vergleichsbildern mit einem Okular Faserforsch 6, 239 (1928) 2721
- TÖPLERS Schlierenmethode 211
- TRAUT, H., sein Simplex-Universalapparat 123, 124 f57
- TRIVELLI, A. P. H., u E. LINCKE (1) Photomikrographie mit 312 mμ Wellenlänge Z Photogr 30, 85 (1931/32) 295, 307, 309, 312
- TROTHANDL, O. (1) Die Mikrokineographie in der Biologie Über eine einfache mikrokinegraphische Apparatur für biologische Zwecke Z Mikrosk 48, 30 (1931) 311
- — (2) Über Photographie von Leuchtbakterien im eigenen Licht Photogr Korresp 64, 359 (1928) 360
- TSCHOPE, E. (1) Die Lokalisation anorganischer Substanzen in den Geweben (Spodographie) Handb d mikrosk Anatomie d Menschen, herausgeg. von W. v. MOLENDORFF, Bd 1, T 1 Berlin Julius Springer 1929 219 f113 u f114
- TURCHINI, J., s u E. DERRIER
- TUTTLE, C., s u ST. BAYNE-JONES
- TYROBESCHE Lösung 323, 335, 336
- VANNOTTI, A. (1) Die REICHERTSche Apparatur zur Beobachtung im auffallenden Licht Z Mikrosk 48, 91 (1931) 234
- — s u P. VONWILLER
- VILLA, L., s u H. BECHHOLD
- VLES, F., s u L. CHEVRETON
- VOGEL, H. W., Bemerkung zum Strahlengang bei einem Mikroskop nachgeschalteten Aufnahme-linsen 174
- VORHÄNDER & SOHN ihre Doppelkammer 167, ihr Plunkton Spiegelskondensor 211
- VONWILLER, P. (1) Neue Wege der Gewebelehre, I Zbl Path (Festschr f M. B. SCHMIDT) 33, 291 (1923) 218
- — (2) Neue Wege der Gewebelehre, II-III Z Anat 76, 498 (1925) 84, 478 (1927) 218
- — (3) Histologische Methoden und Ergebnisse der Mikroskopie im auffallenden Licht Handb d biol Arbeitsmethoden (ABDERHALDEN), Abt V, T 2 Berlin-Wien Urban & Schwarzenberg 1926 218
- — (1) Laborduntersuchung im auffallenden Licht Methodik wiss Biol Bd 1, 460 (1928) 218, 211

- VONWILLER, P. (5) Beiträge zur Anatomie der lebenden Blutcapillaren und des lebenden Blutes des Menschen III Die Capillaroskopie mit starken Ol-  
immersionsobjektiven Schweiz med Wschr 1929 I, 408 228
- (6) Die mikroskopische Untersuchung der lebenden menschlichen Haut Jb naturforsch Ges St Gallen 65, 185 (1930) 228
- (7) Der Weg zur mikroskopischen Beobachtung des lebenden Gehirns Z Anat 94, 701 (1931) Anführung der Quellennummer im Text versichtlich unterlassen 218
- VONWILLER, P. u R ALLEMAN (1) Vitalanatomische Untersuchungen an der lebenden Kaninchenniere Bruns Beitr 149, 226 (1930) 218
- VONWILLER, P. u A VANNOTTI (1) Die Capillaroskopie mit starken Vergrößerungen Handb der biol Arbeitsmethoden (ABDERHALDEN), Abt V, T 2 Berlin-Wien Urban & Schwarzenberg 1929 228, 237, 239
- — — (2) Neue Wege der Gewebelehre, IV Z Anat 95, 512 (1931) 218
- VONWILLER, P. s u V KNUSEL
- VONWILLER, P., sein Spalt-Opak-Illuminator 231, 235
- WACHS, H. (1) Photographie für naturwissenschaftliche Zwecke Methodik wiss Biol Bd 2, 365, 1928 125, 126
- WALKHOFF, O. (1) Darstellung feinsten Strukturen durch ultraviolettes Licht Sitzgsber Ges Morph u Physiol München 33, 7 (1922) 301, 306, 307
- (2) Ein Beitrag zur Kenntnis der Leistungen der Mikrophotographie in sichtbarem und ultraviolettem Licht Dtsch Mschr Zahnheilk 48, 1201 (1930) 301, 306, 307
- WALKHOFF, O. sein Gradmesser 303
- WALL, E. J. Ritschlag zugunsten kautheiser Filter 139, Urteil über Farbrasterplatten 143
- WAMOSCHER, L. (1) Versuche über die Struktur der Bakterienzelle Z Hyg 111, 422 (1930) 351 f 219
- WARA, J. (1) Die Technik der Momentaufnahme Photogr Korresp 64, 114 (1928) 1721
- WASICKA, R. (1) Das Fluoreszenz Mikroskop in der Pharmakognosie Pharm Post 1 (1913) 311
- WASICKA's Immersionstischsgkeit 41
- WATSON W & SONS  
ihre Druckschriften  
32 Aufl 180 f 85 u f 86  
über VICKERS Mikroskope 182 f 88 u f 89  
über ihren großen Metallograph 253 f 154  
Suppl A 253 f 154  
Tabelle 6 37  
ihre Objektiv 46, ihre große Horizontal-kamera für 151, ihre mikrophotogra-
- phische Kamera 180 f 87 u f 88, ihre VICKERS'sches Objektive 180 f 87 u f 88 u f 89, 183
- WEIGERT, F. u H STAUDE (1) Über monochromatische Lichtfilter Z physik Chem 130, 607 (1927) 141
- WEIGERT, F. s u E ELVEGARD  
WEIGERT'sche Färbung 132  
WEIGERT'sche Eisenhamatoxylin Färbung, die 393
- WEIMANN, W. (1) Studien am Zentralnervensystem des Menschen mit der Mikrophotographie im ultravioletten Licht Klin Wschr 1925 I 306, 307, 307<sup>1</sup>
- WEISS, E. (1) Methoden zur mikroskopischen Beobachtung und mikrophotographischen Darstellung der oberflächlichen Gefäße am lebenden Menschen, insbes der Kapillaren Handb der biol Arbeitsmethoden (ABDERHALDEN), Abt V, T 4 Berlin-Wien Urban & Schwarzenberg 1921 228
- WELCH, V. FR. s u J E BARNARD  
WELCH'sche Einstellregel, die 325/6 328, 343 f 215
- WENHAM, F. H. (1) On the theory of the illumination of objects under the microscope with relation to the aperture of the objectglass, and properties of light, with practical methods for special differences of texture and colour Quart J microsc Sci 2, 145 (1854) 2
- WENHAM, F. H., sein waagrecht gestelltes Mikroskop 2
- WESELSKY, PH. s u J J POHL  
WEULL, seine selbsttragenden Uhrwerkklappen 681  
V. WIDAKOWITSCH, V., Vorläufer für Reifeaufnahme 353<sup>1</sup>
- WILSCHKE, A. (1) Über die Fluoreszenz der Chlorophyllkomponenten Z Mikrosk 31, 338 (1914) 311
- WILSON, F. B. seine mikrophotographischen Aufnahmen 6
- WINKEL, R.  
seine Druckschriften  
Druckschrift 208 35 f 13, 45 f 16 230 250 f 150 238 251 f 151  
seine Objektive und Zusammenstellungen 83 170, 334 f 208, 351 f 219 369 370, seine Einzelobjektive oder Einzellinsen 185 f 17 186 Tab 18 187 f 19 191 u 191 f 20, seine komplanatischen Okularen 43, perspektischen Okulare 43, sein photographisches Okular 45 f 16, 83 sein kleiner mikrophotographischer Apparat 58 seine Horizontalkamera 8 sein Monochromator 111, seine kleine Horizontalkamera 166 seine Mikrodumme 185 187 f 19 seine mikrophotographische Einrichtung für mittlen des Licht 250 f 150 sein großes Metallmikroskop nach JE CHAPPELIER 201 f 151 sein großes mikrophotographisches Mikroskop 250 f 178 sein drehbarer Polarisator 259
- WOLF-CZAPKE, K. W. (1) Die Kinetographie 2 Aufl Berlin Union Deutsche Verlags-ges 1911 360
- WOLFF, G. (1) Weitere Mitteilungen über die Einwirkung der Schmetterlingsflügel auf die photographische Platte Roux' Arch (Festschrift SPEMANN I) 116 44 (1929) 316

WOLFF, M (1) Kurze Anleitung zur Mikrophotographie biologischer Objekte im auffallenden Licht Bl Untersuchungs- u. Forschninstr 1928, Nr 2, 3 u 4 220 †116, 221 †117

WOODS, L. J. wichtig für die Entwicklung der Mikrophotographie 4, sein Amphibol 4 verwendet künstliches Licht zur Mikrophotographie 4, 6, beleuchtet mit Hilfe eines Hochstats 4, führt die Kollektoren in die Mikrophotographie ein 4, Aufnahmen mit Licht 4, 6, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000

WOODWARD, J. J. wichtig für die Entwicklung der Mikrophotographie 4, sein Amphibol 4 verwendet künstliches Licht zur Mikrophotographie 4, 6, beleuchtet mit Hilfe eines Hochstats 4, führt die Kollektoren in die Mikrophotographie ein 4, Aufnahmen mit Licht 4, 6, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000

WÜNSCH, E., seine Photo-Dosen 119

WÜNSCH, E. (1) Ein neues universelles photographisches Instrumentarium Z Mikroskop 42, 138 (1925) 165

ZEISS, C., seine Druckschriften

Mikro 257 259 †159 u †160, 260 Tab 24

„ 349 189 Tab 20

„ 373 167 †75, 189 Tab 20, 226 †122

„ 375 257 Tab 23

„ 376 96 †44

„ 386 271 Tab 25

„ 394 154/5 Tab 16

„ 400 12 †4, 28, 52 †20 u †21, 128 †58, 210 †111, 280 †179 281 †182

„ 401 59 †25, 98 †48, 151 †60, 152 †61, 153 †62 u †63, 158 †68, 160 †69, 161 †70, 162 †71 185 †91, 188 †92 u †93, 196 †99 u †100, 222 †118, 230 †127, 266 †169, 281 †180, 282 †184, 288 †186

„ 403 108 †53

„ 404 256 †157

„ 406 206 †109, 206<sup>2</sup>

„ 407 206<sup>1</sup>

„ 422 190 †94 u †95

„ 460 252 †152

„ 476 242<sup>1</sup> 243 †140, 244 †141, 245 †144, 247 †146

seine Objektive, allgemeine Zusammenstellungen mit ihnen 32 Tab 3, 4, 55 Tab 5, 36 Tab 6 42 Tab 7, 78 82 83 84 85 Tab 12, 84, 86 87 88 92 142, 93 143 96 145 103 150 115 151 148/9 Tab 15, 151/5 Tab 16, 170 176 200 1102 206 1109 212 216 1112 219 1111 227, 232 für Epi-Lampen 243 für den Epi-Kondensor W 216 256 bei Polarisationsrichtung 290 †187 u †188 318 1198 319 323 †199, 325 †200 328 †201 327 †204 u 1205 332, 333 †207 335 †209, 338 †212 339 1213 u †214 340, 341 342 †215 u †216 349, 351 †219 353 1220 354 359 389 †236 396 †237 u †238 398 †239 399 †241 400 †242

seine Einzelobjektive oder Einzelinsen 180 Tab 17 186 Tab 18 187 Tab 19 189 Tab 20 191 191 Tab 21 192 Tab 22 192 196 220 †115 252

seine Horizontalkammern 3 seine Aufsatzkammer Phoku 3 sein großes Mikroskop mit weitem Tubus 11 für die Vergrößerungstafel mit Objektive und Okularen 15 Tab 1 sein Objektive spez 4 11 seine orthoskopischen Okulare 13 seine Okulardrehung 46 sein chromatischer Kondensor 32 †20 sein Beleuchtungsobjektiv mit Zentrirvorrichtung 52 †21 seine Vertikalkamera nach HOFMEIER 58 121 60, 119 sein Kohlennach-

schub bei der Ultraviolett-Lampe 671, seine zerlegbaren Tioge (Kuvetten) 70, 71 †30, sein großer Hohlspiegel 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128



## Sachverzeichnis.

Bei Verweisungen auf Personennamen ist das Quellen- und Namenverzeichnis einzusehen

Das Zeichen † steht für Abbildung, so daß also 326 †203 zu lesen ist Seite 326, Bild 203.

Eine Anmerkung ist durch Hinandrucken ihrer Nummer kenntlich gemacht

- Abbildungsmaßstab, der 14, 80
- scharfe, die 14
- tiefe (Tiefenscharfe), die 16f
- Abrollfilm, ein Stück vom — aus Blankfilm 385
- Abschwächer 118
- Abschwächung einer Farbrasterplatte 147
- Absorption des Lichts, die 21, verschiedene — bei UV-Aufnahmen (natürliche Färbung) 307
- Abstand, der, vom Objekt zum Bild 84, s a u Objekt-Bild-Abstand
- Abweichungen von der vollkommenen Strahlenvereinigung 14/6
- Abwickelkassette, die, einer Kinokammer 360
- Abzüge von Dunkelfeldaufnahmen 216
- Acanthodium seriatum* 326 †202
- Acanthometra spec.* 326 †203
- Achromate 28, s a u Objektive
- Achsenbilder, konoskopische, s u konoskopische Methode 289
- Achsenbildimmersion, die, von LEITZ 285
- Achterwelle, die, einer Kinokammer 361
- Alizarin gelb zur Kontrastfärbung 392
- Alizarin-Gentiana-Violett färbung, die, nach BENDA 393
- Amoeba proteus* 345
- Amoeba sphaerocyl* 326 †201, 327 †204 u †205, Kerntuchvornahme bei ihr 353 †220a—e
- Amobenart, Wiedergabe einer größeren 319
- Amphibienkeime 273
- Analydтарbungen 396
- Analysator, der 276, mit Teilkreis 281 †182, ein- und ausklappbarer 281 †183, (Innennikol) mit Zwischengewinde 282 †184, begrenzt gelegentlich das Gesichtsfeld 284, größer für weiten Tubus 288 †186
- anastigmatische Objektive 185, 186, 196, Einstellvorrichtung dafür 196 †99, photographische Objektive 196, Hypergon 197, Irisblenden bei ihnen 198
- anastigmatischer Tubusanalysator 279
- Anisol zur Immersion 41
- Ansatzkasten, der, beim mikrophotographischen Apparat von LEITZ 164
- Anschlagvorrichtung, die, für die Spiegel-drehung bei einem bestimmten stereo-mikrophotographischen Verfahren 267 †171
- Apertur, die, des Beleuchtungskegels 48, 51, s a u Beleuchtungsapparat
- Aperturbereiche, die, des Dunkelfeldkondensors 205, s a u Dunkelfeldbeleuchtung
- Apochromate 16, 28, 33, s a u Objektive
- Artemia salina* schwimmend 348 †217
- Ascaris lumbric*, Nervenzelle davon 398 †239
- Astigmatismus, der, schiefer Bündel am Okular 43, bei der Beleuchtung durch den Hohlspiegel 49
- Auerlicht 74
- Aufbewahrung, die, der Filmnegative 387
- auffallendes Licht, die Mikrophotographie damit 218ff
- die geeigneten Objekte 219ff, die binokularen Präpariermikroskope 219, Teleobjektive 220
- die Beleuchtung 220ff, Beleuchtungslampen nach GREIF 220, Wirkung der Kollektorblende 221, mit Mattscheibe und Spiegel 222, die Opakbeleuchtungseinrichtung 222, 223 †119, der Schlag Schattenobjekt 223, der Doppelprojektorbild 223
- die Objekthalter 223ff, Einrichtungen für Insektenaufnahmen 224, 225 †120, 224<sup>1</sup>, Glasbehälter für Objekte in Flüssigkeiten 224
- für Metallographie und Fasertotforschung 249ff
- große mikrophotographische Einrichtungen 250 †149 u †150, 251 †151
- kleine metallographische Einrichtungen 251
- große metallographische Einrichtungen 254 5
- für polaroskopische Bilder 289
- Auflegekassetten 59, s a u Vertikal-kammer
- Auflicht s u auffallendem Licht
- Auflichtbild, das, seine graphische Wirkung 235.6, das Oberflächenelement 236
- Dunkelfeldkondensor 238ff nach HAUSER nach SPIERER, nach HEINT, nach ZEISS 238, u. bis 238 †135



- schiefen Beleuchtungsbündel 49, der Kondensor im einzelnen 49ff, Beleuchtung des Präparats 50 †18, Strahlengang 50 †19, Apeitur der Beleuchtung 51, die aplanatischen Kondensoren 51, die achromatischen Kondensoren 52 †20, Mikroskopobjektiv als Kondensor 52 †21, die Irisblende 47 †17, 53, ihr Einfluß auf das Objekt-Leuchtfeld 54  
 s u ultraviolett Licht 294 †189  
 Beleuchtungslampen 220  
 Beleuchtungsobjektiv, das 52, s a u Beleuchtungsapparat  
 Belichtungskasten 121  
 Belichtungsmaschinen zur Herstellung von Positivfilmen 384  
 Belichtungsmesser 107<sup>1</sup>, s a u PERUTZ  
 Belichtungsproben 121, mit dem GOLDBERG'schen Graukeil 170, 171 †77  
 Belichtungsstab, der, 104, 107ff, 108 †53  
 Belichtungszeit, die, 95ff  
 Stoppuhr 95, Belichtungsreihen 95, ZEISS'scher Anzeiger dafür 96, †44, 97 †46, feinere Unterteilung der Kassette 97, Schiebekassetten dafür 98 †48, Einlegeblenden 98 †49, ihre Bestimmung nach der Intensität der Lichtquelle 99, mit kleineren Intervallen für schwierige Objekte 104  
 — ihre Berechnung 99, 99<sup>1</sup>ff, abhängig von der Konzentration des Filterfarbstoffs 136  
 — bei Dunkelfeldbeleuchtung 214, für Aufnahmen im polarisierten Licht 281 †181, bei UV-Aufnahmen 305, bei Fluoreszenzlicht 308, s a u Momentaufnahmen beweglicher Objekte 345  
 Beobachtungsfensterchen bei der Kinetographie 374  
 Beibrützenzweig, Querschnitt durch einen 311 †196  
 Bergkristall, Polarisatoren aus 275<sup>1</sup>  
 Beugung, die, 21  
 Beweglichkeit, die, ihr relatives Maß 345, s u Momentaufnahmen  
 Bezeichnung der Objektive 30ff, der Okulare 46ff  
 Bild, scheinbares (virtuelles) 9  
 greifbares (reelles) 10  
 positives s u Positive Bilder  
 Bildbreite, die, beim Filmstreifen 362  
 Bildfeld, das, seine Form auf der Mattscheibe 93  
 Bildfeldkrümmung, die, 16, bei Okularen 43  
 Bildfenster, das, einer Kammer 360, 361 †226  
 Bildformat, kleines, beim Phoku 169  
 Bildhöhe, die, beim Filmstreifen 362  
 Bildstrich, der, beim Filmstreifen 362  
 Bildvergrößerung, die, mit dem Okular 81 durch den Kammerauszug 81, B. RO-MEISEN's Tabelle 12 dafür 84/7, ihr Zusammenhang mit der Auszugslänge nach A. KOHLER 86, beim Phoku mit beiden Homalen 169, bei der Dunkelfeldbeleuchtung 209  
 binokulare Tubusaufsätze von LEITZ u REICHERT 255  
 biobjektiv-binokulares Mikroskop 255  
 Bitumen,  
 Bitumi, beides binokulare Tubusaufsätze von C. ZEISS 255  
 bizentrischer Kondensor 203, 204, 206  
 — für Helldunkelfeld 210 †110  
 Blaueisenpapier für Überzeichnung mit Tusche geeignet 399  
 Blaufilter s u Lichtfilter 137  
 Blauschwarz, Färbung damit 391  
 Blenden, gelegentlich in die Linsenfolge besonders eingesetzt 30, beim Vertikalilluminator 232  
 Blendenöffnungen 79, s a u Leuchtfeldverfahren nach A. KOHLER  
 Blutkapillaren 273 s a u Kapillarmikroskopie 227ff  
 Blutpräparate, native 21 †5 321  
 Bordeaux-Färbung, die, für Übersichtsaufnahmen 392  
 Bosmina 365 †230  
 Brechung, die, 21  
 Brechzahlen von optischem Glas 29 Tab 2  
 Bromelia 254 †156, s a u Mischgewebe  
 Chinsulfatlosung gelegentlich als UV-Filter zu verwenden 374  
 Chromhamatoxylinfärbung, die, nach R. HEIDENHAIN 393  
 Chromosomen im Axolotl-Ei 389 †236  
 — in einer Schmetterlingszelle 398 †240, ihre Aufnahmen mit UV-Licht möglicherweise lohnend 398, ihre Wiedergabe durch Tuschezeichnungen 400  
 Correex-Verfahren, das zur Entwicklung belichteter Filmrollen 383  
 Dauerpräparate die Mikrophotographie gefärbter 388ff  
 die optischen und graphischen Eigenschaften der Objekte 388, die Wahl der Färbung 390, Schnittdicke und Einschlußmittel 394, die Behandlung des Negativs und des Abzugs 395, die farbigen Abbildungen 396, die Wahl zwischen zeichnerischer und mikrophotographischer Abbildung 397  
 Dauerpräparat 25 s a u Präparat  
 Deckglasdicke, die normale 33 35 †13 s a u unter Objektiven (Korrektionsfassung) 33  
 Deckglaskulturen s u Kulturpräparaten 329 u Gewebekulturen 335 †209 auf Glimmerplättchen 337 Kontrast dabei 339, im Dunkelfeld 342

- Deckscheibe, die 126  
 Dochkohlen 65  
 Doppelobjektiv, das, der einfachen Kern-  
 optik nachstehend 391  
 Doppelspiegel nach PLETT 223, s a unter  
 auffallendes Licht  
 Doppelspiegelreflexkammer, die, nach  
 SCHEFFER 347  
 Dosenentwicklung, die 119  
 Drehmanuskript, das, für die Filmvor-  
 führung 387  
 Drehscheibe, die, an der Mikrometer-  
 schraube beim SWINGLESchen Ein-  
 stellverfahren mit UV-Licht 301, ver-  
 bunden mit dem Gradmesser nach  
 FR F LUCAS 303  
 Dubletten beim Filmabzug 386  
 Dunkelfeldbeleuchtung, die, 199 ff  
 für Ultramikroskopie 200, s diese  
 für mikroskopische Formgebilde 200  
 mit orthogonalem Strahlengang 200  
 mit koaxialem Strahlengang 201 f 104,  
 das Spalt-Ultramikroskop 201, 202  
 f 105, die Dunkelfeldkondensoren  
 mit koaxialem Strahlengang 202,  
 203 f 106, der Paraboloidkondensor  
 203, der Kardoidkondensor 202<sup>1</sup>,  
 203, der bizentrische Kondensor  
 203, 204, der Leuchtfeldkondensor  
 204 f 108, 206, Immerionskonden-  
 soren 204, Trockenkondensoren  
 204, die Aperturbereiche des Dun-  
 kelfeldkondensors 205, die Iris-  
 Aperturblende 205, Kondensor-  
 schnittweite und Objektebene 207,  
 Einhaltung der vorgeschriebenen  
 Tragglassdicke 207, die Bedeu-  
 tung der Tiefenscharfe 207, die  
 Azimutfehler 208 die Handhabung  
 der Dunkelfeldkondensoren 208,  
 die Bildvergrößerung 209, die  
 Wechselkondensoren 209, 210 f 110,  
 die Präparierwechselkondensoren  
 209, 210 f 111, Planktonkondensor  
 211 Kegelkondensor 211, Plank-  
 ton-Spiegelkondensor 211  
 durch Abblendung der Sehtfeldstrah-  
 len im Objektiv 211 ff  
 der Einfluß des Objekts 213 ff  
 Einstellung und Belichtung 214 ff  
 Aufnahmen von ultramikroskopischen  
 Strukturen 215  
 Plattenwahl 215 ff  
 die Abzüge 216 ff  
 die Molekularbewegung 217 ff  
 bei der Lumineszenzmikroskopie 310  
 mit auffallendem Licht 311 bei  
 Deckglaskulturen 330 BISSONsches  
 Reinigungsverfahren für Nahgelat-  
 tine 331 Vermeidung von Störungen  
 durch die Form der Objektschicht  
 331, bei Schalkkulturen 333 f 207,  
 mit dem FERNBERGerschen Heiz-  
 tisch 337<sup>1</sup> bei gewissen Deckglas-  
 kulturen 342 ff  
 Dunkelfeldbild, das, 23, mit großer Kon-  
 trastwirkung 23  
 Dunkelfeldmikroskopie, die 20  
 — -kondensor, der 23, s a unter Dunkel-  
 feldbeleuchtung und unter Auflicht-  
 Dunkelfeldkondensor  
 Ebnungsokulare 177, s a u Okulare so-  
 wie u Aufsatzkammern (BUSCH)  
 Embetten 25  
 Einblicköffnung, die seitliche — beim  
 mikrophotographischen Apparat von  
 LEITZ 164, s a 347, 375  
 Eindeckmittel für Zellen 307, s a u Ein-  
 schlußmittel  
 Einlegeblenden s u Belichtungszeit, s u  
 stereo-mikrophotographische Ein-  
 legeblenden 264  
 Einschlüsse in Glimmer, Aufnahme davon  
 241 f 139  
 Einschlußmittel 25, richtige Wahl dafür  
 322, 323, lassen meistens die Strahlen  
 wie Glas durch 390, ihre Bedeutung  
 für die gute Wiedergabe von Dauer-  
 präparaten 394 ff  
 Einstellung des Bildes, die endgültige 88  
 auf der Mattscheibe 88, mit der Ein-  
 stellulpe oder mit der pendelnden  
 Scheibe nach A KOHLER 88 stufen-  
 weise erfolgende 89, in sukzessiven  
 Pausen erfolgende 89<sup>1</sup>, mit Lupe und  
 Spiegelglasscheibe 90 bei Farben-  
 photographie 145, seitliche beim  
 Phoku mit der Fernrohrulpe 168 9,  
 bei Macca und Makam 175, bei Dun-  
 kelfeldbeleuchtung 214 des polari-  
 skopischen Bildes 282, Einstellung  
 bei UV-Beleuchtung a) nach SWING-  
 LE 301 b) nach KOHLER mit dem  
 Sucher 302, bei C. J. J. J. J. J.  
 327 327 f 204 u J. J. J. J. J.  
 Hüssung durch die Tropfentform der  
 Kultur 338, direkte und indirekte bei  
 der Mikrokineematographie 374, mit  
 Hilfe der Fernrohrulpe 377  
 Einstellulpe, die 91 f 40, s a unter Ein-  
 stellung  
 — geknickte 92 f 41  
 Einstellvorrichtung, die 196 f 99, s a u  
 anastigmatische Objektive  
 Einseiwelle, die einer Knochkammer 361  
 378  
 Eintrittspupille, die 16  
 Einzelbilder, farbige, des mikrophotogra-  
 phischen Bildes 129  
 Einzelvergrößerung, die 14 s a u Ver-  
 größerung  
 Eisenhamatoxylinfärbung, die nach  
 M HILDEBRAND 393  
 Elektroden s u ultraviolett Licht 294  
 Elektromagnete zur Regelung der Zeit-  
 raten 379  
 Empfindlichkeit, die für verschiedene  
 Wellenbereiche 127 ff bei Filmen  
 366

- Entwickler, der, seine Wahl und der Plattenarten 116ff, Metol-Hydrochinon-E 117/8, Pyrogallol-E 118, für die Papiere 122, für das Negativ einer Faibrasterplatte 146ff, für das Positiv einer Faibrasterplatte 147  
 Entwicklung, Stand- u. Schalen- 119, 395  
 Entwicklungsdauer, die 110ff, 395  
 Entwicklungsfaktor, der 115, 395  
 Entwicklungspapiere 120, 395  
 Entwicklungsproben 114, 395  
 Eosin für Übersichtsaufnahmen 392  
 Epi Kondensoren, Lampen-, Spiegel- 242/5, s a u Auflichtgeräte zur Dunkelfeldbeleuchtung  
 Erschütterungsfreiheit, die, an mikrokineematographischen Apparaten 355  
 Erythrosin für Übersichtsaufnahmen 392  
 Explantation, die, s u Gewebekulturen 334  
  
 Fadenkreuzokular, das 283  
 Faktoriendiagramm, das, des mikroskopischen Bildes 26 f7  
 Farbenbild, das 14, durch Lichtabsorption 21  
 Farbenfehler der Apochromate 16, der Kompensationsokulare 44  
 Farbenphotographien 143ff, für Polarisationsfarben 292  
 Farbmasternplatten 143ff  
 Farbtransparenz, die 137  
 Farbenunterschiede, in Schwarz-Weiß nicht wiederzugeben 388  
 Farbgläser, Durchlässigkeit verschiedener 134 Tab 13, 140  
 Farbstoffdichte, die 137  
 Farbung, die elektive 25, ihre Wahl 390ff, Doppelfarbung, Keinfarbung 391  
 Farbung, die, mit Azokarmin 130, 132, 135, Benzopurpurin 135, Boraxkarmin 131, 135, Eosin 135, Erythrosin 135, Karmalaun 131, 132, 135, Neutralrot 135, Safraninrot 143, Saurefuchsin 135, Scharlach-, Sudanrot 135, Thiazinrot 135, mit Kryptocyanin 313  
 Faserstoffforschung, die 249ff, s a u auffallendem Licht  
 Federwerk, das, einer Kinokammer 362  
 Feinmstellung, die, des großen mikrophotographischen Apparats 157, 158 f68  
 Feinmühlpe, die, am mikrophotographischen Apparat von LEITZ 164, am Phoku 169  
 Fettfarbung, die, im allgemeinen 396, mit Sudan 393  
 Feuergefährlichkeit, die, der Filme 367  
 Fibroblastzellen bei verschiedener Beleuchtung 343 f215  
 Film, der, seine Korngröße und Empfindlichkeit 366 seine Orthochromasie 366 seine Feuergefährlichkeit 367  
 Filmformat, das, für Filmstreifen 362, Bildhöhe, -breite, -streich 362, Verhältnis der Laufzeit und Filmlänge dazu 363 Tab 27  
 Filmkanal, der, einer Kinokammer 361 f226  
 Filmkorrektur, die, Regeln für die Ausführung 385  
 Filmlänge, die, s u Filmformat 363 Tab 27  
 Filmmeßmaschine, die, zur Nachprüfung 385  
 Filmttransport, der 352, 361  
 Filter 133ff, s a u Lichtfilter  
 Fixierungsmittel für Infrarot-Aufnahmen 313  
 Flächenhelligkeit, die 64, s a u Lichtquellen, künstliche  
 Flagellaten, die Aufnahme kleiner — mit stärkeren Linsenfolgen 348  
 Flaschenkulturen s u Gewebekulturen 335, 336 f211, 342ff  
 Flimmerepithelzellen 346  
 Flimmerhaare, ihre Aufnahme mit stärkeren Linsenfolgen 348  
 Flimmerschlag, seine Aufnahme 345  
 Fluoreszenzmikroskopie, die, Einrichtung für sie 310 f195, Aufnahme durch einen Beirbeitenzweig 311 f196, im auffallenden Licht 311, Mikroskope dafür 311, HATTINGERS Anlage 311 mit Woodschem Licht 312  
 Fluoritsysteme 28, 32 s a u Objektive  
 Fokussdifferenz, die 129  
 forderliche Beleuchtung 24 Vergrößerung 19, s a u Beleuchtung, Vergrößerung  
 Formwechsel der, die Einteilung der Objekte nach dessen Schnelligkeit 345  
 Frequenz, die, der Aufnahme und die der Vorführung 353, normale 354, Zeitraster- und Zeitdehneraufnahmen 354  
 Fruchtschuppen (der Buße) 220 f116  
 Funkensicherung, die s u ultraviolettem Licht 294  
 Fußplatten, die 153 f62 u f63, 155  
 Fußstück, das, am Stativ 10  
  
 Gameten 346  
 Gelbfilter 138, s a u Lichtfilter  
 Gentianaviolett zur Farbung 391  
 Geschichte der der Mikrophographie 111  
 MAYERS Photomikroskop von 1844 1  
 der Lichtschutz nach POHL u. WESSELSKY von 1852 2  
 F. H. WENHAMS Bildwert mit waagrechttem Mikroskop von 1862 2  
 H. VAN HEURCKS Aufnahmen ohne Okular 1863 2,  
 die Verwendung des nassen Kollodiumverfahrens nach F. S. ARCHER 1851 2,  
 A. MOITTESSERS Einfluß von 1866 ab 3

- J J WOODWARDS Kollektorlinsen von 1871 4, die Verwendung kurzweiliger Strahlen seit 1864 4,
- G FRITSCHENS erster Apparat mit getrennten, durch einen lichtdichten Armel verbundenen Teilen und HOOKESCHEM Schlüssel zur Feineinstellung 1873 4,
- NACHETS Horizontalkammer 1886 5, zu Momentaufnahmen beweglicher Objekte 5,
- G FRITSCHENS zweiter Apparat 1882 5,
- R ZEISSONS große Horizontalkammer von 1888 5, die künstliche Beleuchtung nach den sechziger Jahren 6,
- ST CAPRANICAS Reihenbilder mit dem NACHETSCHEN Apparat 1888 9
- die, der Mikrokinematographie s 358<sup>1</sup>
- Gesichtsfeld das, 51<sup>1</sup>, 55, seine Größe bei der mikrokinematischen Projektion 369, dabei ist das Größenverhältnis des Objekts zu den Gesichtsfeldgrenzen zu prüfen 370, s a u Sehfeld
- Gestell, das, für die optische Ausrüstung bei mikrokinematischen Aufnahmen 359
- Gewebekulturen, die 333ff, die Explantation 334, das Implantat 334 †208, der Wachstumshof 334 †208, 335 †209, die Deckglaskulturen 335 †209 u †210, die Flaschenkulturen 335, CARRELSCHES Flaschen 336 †211, heizbare Kasten, Tische und Kammern 336, Flaschenkulturen 342ff
- Glasbehälter für Objekte in Flüssigkeiten 224, 321
- Glasbild, das (Diapositiv) 13, 125ff, Deckscheibe, Maske (Vignette), Klebstreifen 126, zur Vorführung gefärbter Objekte 126
- Glasbildgröße (g), die 368
- Glasplattensätze s u Polarisiertern Licht 274
- Glimmerplättchen für Deckglaskulturen 337
- Glykogenfärbungen 396
- Glyzerin zur Immersion 41, 299
- Glyzintwickler der, bei Aufnahmen getriebener Dauerpräparate 395
- Goldimprägnerungen zur Aufnahme von Gehäusemzelleiten 391
- Gradation die in der Mikrophotographie 109, die beste ist von Fall zu Fall festzustellen 112, Unterschied bei elektiv gefärbten oder stark brechenden Gebilden (härteres Bild) und histologischen Übersichtspräparaten (weicheres Bild) 112 3
- Gradmesser der s u Drehscheibe 303
- graphische Wirkung die, bei Aufnahmen im polarisierten Licht 290ff, von Deckglaskulturen 329ff
- Graukol Gombrowscher 170 171 †77
- Greifer, der, einer Kinokammer 360, 361 †226
- Größenverhältnis, das, von Objekt zu den Gesichtsfeldgrenzen bei Schümbildern zu prüfen 370
- Grundplatte, die 58, 171
- Grünlicht zur Entwicklung des Negativs einer Farbrasterplatte 146
- Hageh-Lampe, die 300, 374<sup>1</sup>
- Halbbilder 264 †167, 266 †168, s a u stereoskopische Halbbilder
- Haltevorrichtung, die, einer Kinokammer 360
- Hamateinfärbungen 393
- Hamatoxylinlackfärbungen 391
- hangende Tropfen zur Lebendbeobachtung 321
- hart arbeitende Platten sind für die UV-Photographie angezeigt 306, s a u Plattensorten
- härtere Bilder 109, bei elektiv gefärbten und stark lichtbrechenden Gebilden 112
- Hautmikroskop, das, nach O MÜLLER s u Kapillarmikroskopie 227
- heizbare Kasten, Tische und Kammern 336, 337, für Hell- und Dunkelfeld 337<sup>1</sup>
- Heliostate 74
- Hellfeld, das, beim Epi-Kondensor W 246, bei dem EISENBERGSCHEN Heiztisch 337<sup>1</sup>
- Hellfeldbild, das 23/4
- Helligkeit, die (Lichtstärke) 17/19
- Hilfskollektoren 159ff
- Hilfsmikroskop, das, s u Stereokammer 258/9, zu konoskopischen Beobachtungen 287
- Hilfstubus, der, am mikrophotographischen Apparat von LEITZ 164
- Hintergrund, der, seine Wichtigkeit 111 bei Gewebekulturen im besonderen 341
- histochemische Reaktionen, zu ihrer Wiedergabe ist eine farbentreue Abbildung notwendig 396
- Hochfrequenzkammern gelegentlich für Zeitlupenaufnahmen nötig 382
- Hochglanz, der, für Papierbilder 123
- Holz Anschliff an verkieseltem, Aufnahme davon 248 †148
- Homale 44 †15, 81 94<sup>1</sup>, 169, 370, s a u Okulare
- Homogenkohlen 65
- Horizontalkammer, die große 151ff 151 †60 152 †61, s a u mikrophotographischen Apparaten
- Horizontal-Vertikal-Kammer, die 161ff 162 †71 163 †72, 165 †73 166 †74, s a u mikrophotographischen Apparaten
- Hyperton der 197 s a u anastigmatischen Objektiven

- Iboverschluß, der, an LEITZischen Aut-  
satzkamern 173  
 Immersionslinsen (Wasser- 38, Glycerin-  
41, 299 Ollinsen 39) 34, 35 †13, Tab  
5, 6, für die Aufnahme des Zell-  
gefüges 340  
 Implantat, das, s u Gewebekulturen  
334 †208  
 Improvisationen = Behelfe 360  
 Indexellipse, die 276  
 intraoites Licht, Mikrophotographie für  
mit 312ff, Platten 314, Fixiermittel  
313, Farbungsmittel dafür 313, Mu-  
steraufnahme 314 †197  
 Innennikol, der 282 †184  
 Insektenaufnahmen, Einrichtung für sie  
224, 225 †120, 224<sup>1</sup>  
 Intensitätskurve, die 105 †52  
 Interferenzmaxima und -minima 21, 277  
 Iris-Aperturblende, die 205, s a u Be-  
leuchtungsequivalent  
 Irisblende, die 22, bei anastigmatischen  
Objektiven 198  
 Janusgum zur Darstellung von Mitochon-  
drien 324  
 Kadmmielektroden, s u ultravioletter  
Licht 294  
 Kaliumnonochromatfilter 136  
 Kalklicht, das 74  
 Kammergestell, das 152 †61  
 Kameraverschluß, der 60, für Moment-  
aufnahmen 346  
 Kapillaren aufnahmen 227 †124  
 Kapillarmikroskopie, die 227ff  
 mikrophotographische Einrichtungen  
dazu von C. ZEISS 226 †122, 227,  
von E. LEITZ 227 †123 u †124, Haut-  
mikroskop von O. MÜLLER 227,  
GULLSTRANDSche Spaltlampe 228,  
Mifilmca 227 †123 u †124, 228  
 Karbolfuchsinfarbung, die, für Bakterien-  
präparate 393  
 Kardiodkondensor, der 202<sup>1</sup>, 203 204  
†108  
 Kassetten 59, s a u Vertikalkammer  
 Kemlung, ein (Triton-K) 220 †115  
 Kegelkondensor, der 211, s a unter  
Dunkelfeldbeleuchtung  
 Kerntarbung, einfache, liefert im Licht-  
bild deutlichen Abstich 391  
 Kernhot, der, sein Aussehen bei der Auf-  
nahme 339  
 Kernteilung, die lebender Zellen 350 †218  
 Kernschwarz Farbung damit 391  
 Kerntisch, der, Ausführung eines solchen  
an einer Amöba sphaeroneucl 353  
†220a—e  
 Klebemittel für die Filmstreifen 385  
 Klebstreifen 126  
 koaxiale Beleuchtung, die 201, s u Dun-  
kelfeldbeleuchtung  
 Kodak-Box-Kamera, die behelfsmaßig  
für Mikroaufnahmen verwandt 173<sup>1</sup>  
 Kollektorblende, die 194, 221, s u Be-  
leuchtung, auch u auffallendem  
Licht  
 Kollektorlinse, die 42, am Okular, s u  
Okular  
 am Kondensor 75, s u Leuchtfeldver-  
fahren  
 Kolloide, Strukturbildungen dabei 345<sup>1</sup>  
 Kolonie, eine, von B. dysenteriae 333  
†207  
 Kompensationsfilter 134  
 Kompensationsokulare 44, s a u Okulare.  
 Kompensatorien s u Polarisationsmikro-  
skop 279  
 komplanatische Okulare s u Okulare  
 Kompuverschluß der 60 des Phoku 173,  
bei Momentaufnahmen 346  
 Kondensor, der 22,  
 im Achsenschnitt 28 †9, in Aufsicht  
47 †17, s a u Beleuchtungsapparat  
des Mikroskops 46, s ferner u  
Leuchtfeldverfahren nach KOHLER  
75  
 — großer 194, s a u Beleuchtung  
 Kondensorschnittweite und Objektlänge  
207, s u Dunkelfeldbeleuchtung  
 Kondenswasser, das 322  
 konoskopische Methode, die 286ff  
 das zusammengesetzte Konoskop 287,  
Konoskopbilder 287 †185, Achsen-  
bilder zur photographischen Ab-  
bildung 289  
 Kontaktuhr, die, für Zeitraffer 379  
 Kontrastblende, die, vorzüglich mit gel-  
ben Filtern 392  
 Kontrastfilter 133  
 Kontrastwirkung, die 20, gute beim  
Dunkelfeldbild 23, graphische im  
mikroskopischen Bild 111 Steige-  
rung innerhalb lebender Zellen 323  
 — durch polarisiertes Licht 328 bei  
Aufnahmen von Deckglaskulturen  
339, zwischen Objekt und Hinter-  
grund 341, bei verschiedenen Be-  
leuchtungsarten 343 †215 u †216  
ihre Erhöhung durch mikrotech-  
nische Farbung 389  
 Kornelung, die einer entwickelten photo-  
graphischen Platte Aufnahme davon  
235 †131, mit Schräglichtilluminator  
238 †134  
 Korngröße, die, der Filme 366  
 Korrektionsfassung, die 29 33 †11 u †12  
s u Objektive  
 — okulare s u Quarzokulare 299  
 Korrektionszustand der 16  
 Kraftquelle, die zum Betreiben der Film-  
kammer 359  
 Kriesohot zur Vitalfarbung 324  
 Kulturpräparate 328ff Deckglaskultu-  
ren 329 Nährgallerie mit möglichst  
glatter Oberfläche 329, die graphische  
Wirkung des Bildes Schalenkulturen  
331, in Nährlösungen nach LEWIS  
342 (flüssigen Kulturen) 344

Kurbelwerk, das, einer Kinokammer 362  
 kurze Fassung von Objektiven s u Vertikalluminator 232  
 kurzweilige Strahlen seit 1864 verwandt 4, s Geschichte der Mikrophotographie,  
 Kuvetten 70, s a u Porzellanbehälter u Lichtquellen, künstliche, auch 160

Lautzeit die, und die Filmlänge im Verhältnis zum Filmaformat 363 Tab 27  
 Leberdrehapparat für die, die Mikrophotographie 317ff, die optische Auflösung dabei 317, die Präparate dafür 320ff, natives Präparat 320  
 Leuchtfeldkondensor, der 204 †108, 206 †109  
 Leuchtfeldverfahren, das, nach KOHLER  
 a) der Kollektor 75, Kollektorlinse 75, Kollektorblende 75,  
 b) das Leuchtfeld 76, das Bild der Lichtquelle 76, 77 †32—36,  
 c) der Einfluß der Kondensoren 78,  
 d) das Verhältnis der Blendeneffnungen 79 †37 [346  
 Leukozyten, ihre Pseudopodienbildung  
 Licht das, seine Zusammensetzung aus Wellen verschiedener Länge 132, monochromatisches 141, kurzweiliges u seine Vorteile bei der Aufnahme ungetarnter Objekte 143  
 Lichtdicke Verbindung s u Lichtschutzmanschette 371  
 Lichtfilter 133ff, eintarbige 134 Tab 14  
 -- Konzentration des Farbstoffs beruhen 136, aus Kupfernitrat 137, nach ZETZNOW 136, 138, für gelbe und blaue Filter 138, flüssige aus Pikminsaurelösungen 140, für Farbaufnahmen 145, für Polarisationsfarben 292 für Aufnahmen mit Lumineszenzlicht 309, zur Ausschaltung der UV-Strahlen 309, die Wirkung der Farbfilter 324  
 Lichtstreuung Platten 117  
 Lichtprüfer, der, nach A v HUBL 133  
 Lichtquellen, künstliche ihre Verwendung nach den sechziger Jahren 6 s Geschichte der Mikrophotographie  
 Punktlichtlampen 60 61 †27 373, a) mit Gleichstrom 62, Zündvorrichtung 63, die absolute Lichtstärke 64, die spektrische Flächenhelligkeit 64 b) mit Wechselstrom 64  
 Kohlenbogenlampen 65 Homogenkohlen 65 Dochtkohlen 65 Mantelkohlen 66 Lichtausbeute bei Wechsel- und bei Gleichstrom 65 Tab 10, Durchmesser von Bogenlampenkohlen 65 Tab 11, Kohlenbehälter 66  
 a) Handregulierlampen 67 †28  
 b) Uhrwerklampen 67 †28 solche mit Selbstregulierung 67 †29, Regelspannung 68 373  
 c) Starkstromlampen 68

d) Wechselstromlampen 69,  
 e) Warmestrahlen und ihre Abschirmung 70 — Kuhlkuvetten 70, Wärmeschutzglas 70, Porzellanbehälter 70, 71 †30  
 Projektionsröhrenlampen 72  
 Niedervoltlampen 73, 373, Monla 73 †31  
 Bandlampen 74  
 Kalklicht 74, Zuckonlicht 74, Azetylenlicht 74, Auerlicht 74  
 ihre Intensität und die Bestimmung der Belichtungszeit 99, ihre Farbe 133, für Momentaufnahmen ausreischend 346 für mikroklinematrische Aufnahmen 373  
 Lichtschutzmanschette, die 26, 27 †8, 57 †23, 60, 371  
 Lichtstärke, die 64, s a u Lichtquellen, künstliche  
 Lifafilter 140  
 Lineale, die 156  
 Lipoidfärbungen 396  
 Lochung, die, der Filmmolle zur Anbringung von Trennungslinien 384  
 Lukam, die LERTZISCHE Aufsatzkammer 260, 261 †161  
 Lunmax-Apparat 124  
 Lumineszenzlicht, das 308ff Kollektoren aus Uviolglas 308, Länge der Belichtungszeiten 308, Uviolscheiben als Filter 309  
 Lupe, die s u Einstelllupe 91 †40, sowie u Fernrohllupe 164  
 Lupenstativ, das, bei Aufnahmen mit schwacher Vergrößerung 184 †90  
 Lupenvergrößerung, die 14, s a u Vergrößerung  
 Lustria-Folien 123  
 Lytaklebetisch, der, zur Durchsicht des fertigen Films 385, zum Zusammenkleben 386

Macca 173ff s a u Aufsatzkammern von LERTZ  
 Makam 173ff s a u Aufsatzkammern von LERTZ  
 Mantelkohlen 66  
 Martinsgelb zur Kontrastfärbung 392  
 Maske die (Vignette) 126  
 Mattscheibe die 222, für indirekte Beleuchtung s a u auftallendem Licht  
 Mattscheibenbild das 80 s a u Aufnahme mit einer kleinen Vertikalkammer  
 Metallmikroskope 251 †151 252 †152 u †153 253 †154, Begriffsbestimmung 254  
 Metallographie 249ff, s a u auftallendem Licht  
 metallographisches Mikroskop zur Mikroklinematographie wohl geeignet 367  
 Metaphot der 181 †87 s a u mikrophotographischen Apparaten besonderer Form  
 Methylbenzolat zur Immersion 41 bei Kondensoren 52



- Methylenblau zur Färbung von Nervenzellen 324  
zur Färbung im allgemeinen 391
- Michro 175, s a u Aufsatzkammern nach CERNY
- Mifilmca, eine Einrichtung von E LEITZ 227 †123, 228, 351, 368
- Mikrokamera, die, mit dem Mikrophot s u Aufsatzkammer v ZEISS-IKON 375 †231
- Mikrokammern s u Aufsatzkammern nach CERNY 175, und von E BUSCH 176
- Mikrokinematographie die 352ff, die Aufnahmetechnik 352, die Projektionstechnik 352, die Aufnahmeapparate 354, der HOFERSche 355 †221, der LEITZische 356 †222, 357 †223, der ROSENBERGERSche 359 †224, die Hauptbestandteile des mikrokinematographischen Apparats 359, die Aufnahmekammer 360, das Filmmaterial 362, die Schmalfilmtechnik 364, Körngroße und Empfindlichkeit der Filme 366, die mikroskopisch-optische Einrichtung 367, der Einfluß der Projektion auf die forderliche Vergrößerung 368, die Größe des Gesichtsfeldes 369, die Okularvergrößerung 370, die Beleuchtungseinrichtung 371, die Scharfstellung und ihre Überwachung 374, die Probeaufnahmen 378, die Zeitrafferaufnahmen 378, die Zeitlupe 381, die filmtechnische Behandlung der belichteten Filmrollen 383, die Überprüfung der Aufnahmen 386, der Plan der Aufnahmen 387
- Mikrokristallisation, die, Vorgänge dabei 345<sup>1</sup>
- Mikroluminae von WINKEL 185, 186, 187 Tab 19
- Mikrophot, der von ZEISS-IKON 375 †231, s a u Mikrokamera
- Mikrophotographie die 9ff ist gelegentlich durch die Zeichnung zu ersetzen 397
- mikrophotographische Apparate, die großen 149ff  
die große Horizontalkammer von ZEISS 151ff, 151 †60, 152 †61  
das Kammergestell 152, die Schulle 153, das Tischgestell 153, die Fußplatten 153 †62 u †63, die Lineale 156 die optische Ausrüstung 156, die Handhabung bei waagrechter Stellung 157, die Ferninstellung 157, 158 †68, Zentrierlinsen 158 und Hilfskollektoren 159 die Kuvetten 160, die Handhabung bei senkrechter Stellung 160, das Umkehrprisma 160 †69, der Umkehrspiegel 161 †70
- mikrophotographische Apparate, die Horizontal-Vertikal-Kammern 161ff, 162 †71, 163 †72, 165 †73, 166 †74  
das Modell von ZEISS 162 †71, der große mikrophotographische Apparat von LEITZ 163 †72, 165 †73, 347, die Schwingvorrichtung 164, der seitliche Einblick 164, der Ansatzkasten 164 die Fernrohllupe 164, der Hilfstubus 164, das Spiegelsystem 165, der Universalapparat Kam N von REICHERT 165ff, 166 †74, Periskopspiegel 165, die kleine Horizontal-Vertikal-Kammer von WINKEL, der große Apparat von BAKER 166
- Mikroplanare von ZEISS 185 †91, Tab 17, 186, 189 Tab 20, 190 †94 u †95  
— zur Kapillarmikroskopie von C ZEISS 227, 226 †122, von E LEITZ 228, 227 †123 u †124
- mikrophotographische Einrichtung, die, für ultraviolette Licht 295 †190
- mikrophotographische Apparate besonderer Form 179ff  
der SKELLSche Apparat 179 †84, die Vertikalkammer nach VAN HEURCK 180 †85, 181, WATSON & SONS und ihre Pocket Camera 180 †86, das Metaphot von BUSCH 181 †87, die Einrichtungen nach VICKERS 182 †88 u †89  
— Einrichtung für Autlicht 221 †117
- Mikropolare von REICHERT 185, 186 Tab 18
- Mikroprojektionsbogenlampen für die Mikrokinematographie 372
- Mikroradiographie, die 315ff, kleine Röntgenröhren 315, DAUVILLERS mikroskopische Methode 316, RUSSELS Photographie durch Kontaktwirkung 316
- mikroskopische Optik 9ff, zusammenfassende Werke über 13<sup>1</sup>
- Mikroskopobjektive, schwache ohne Okular 191 Tab 21, 192 Tab 22
- Mikrospektialkondensor der 128 †58 138 -objektiv, das 125
- Mikrostereoaufnahmen 271 Tab 25
- Mikrostereokamera, die LEITZische 260
- Mikrosummare von LEITZ 185
- Mikrotare von ZEISS 185 †91, 186 189 Tab 20, 190 †94 u †95
- Mikrotechnik, die 25 Lehrbücher dazu 25<sup>1</sup>
- mikrotechnische Färbung 389
- Mikrurie, die 350 Begriffsbestimmung 350<sup>1</sup>, Versuch dazu 351 †219
- mineralogisches großes Arbeitsstativ 280 †178
- Mipon 175 s a u Aufsatzkammern nach CERNY
- Minaphot Apparat der 123 †56, 213

- Mischgewebe aus Bromelia, Seide und Baumwolle, Ausnahme davon 254 †156
- Mitochondrien 390, ihre Färbung mit Pikrofuchsin 393, Aufnahmen mit UV-Licht davon möglicherweise lohnend 398
- Molekularbewegung, die, nach BROWN 345<sup>1</sup>, ihre Erschwerung von Dunkelfeldaufnahmen 217
- Momentaufnahmen, die 344ff, die Einteilung der Objekte nach der Schnelligkeit des Wechsels 345, der relative Maßstab zur Beurteilung von Beweglichkeit und Bemessung der Belichtungszeit 345, Einrichtungen dazu 346ff, Kammerverschluß 346, lichtstarke Lichtquelle 346, seitliche Beobachtung 347, das Festhalten der Objekte 348, die Wahl der Linsen und die Beleuchtungsfrage 349, Reihenphotographie 350ff, Mikirurgie 350
- Momentmikrophotographie, die 166/7, s a u Spiegelreflexkamern sowie Aufsatzkamern
- Monla, die Universallampe 73 †31
- Monochromate 28, 299, s a u Objektive monochromatisches Licht, seine Verwendung 141ff, Vorteile kurzwelligen monochromatischen Lichts 143
- Monochromator, der 141, 142 †59
- monoobjektiv-binokulares Mikroskop 255, 256 †157
- Muskelfaser, die Querstreifung einer Insektenmuskelfaser 318 †198, ihre Zuckungen 345
- Muskelzelle quergestreifte 325 †200 gezüchtete embryonale 339 †213, in polarisiertem Licht 343 †216
- Musterkopie die, zur Durchsicht der Aufnahme 385<sup>1</sup>
- Myxomyzeten 345
- Nachwicklertrömmel, die, einer Kinkammer 361
- Nahboden, der, 334, 342, s a u Gewebekulturen
- Nahgallerie die, s u Kulturpräparate 329
- natives Präparat s u Präparat 25, 320
- Negativ das einer Farbstrahleraufnahme seine Entwicklung 146
- Negativverfahren 104
- Nervenzellen ihre zweckmäßige Färbung 391
- Nervengewegekultur 335 †209, s a u Gewebekulturen
- Nervenzelle pluripolare Aufnahme davon 338 †212 zweckmäßige Färbung davon 391
- von *Ascaris lumbric* Aufnahme davon 398 †239 mit Neurofibrillen auf einer Tuschezeichnung 400 †242
- Neurofibrillen auf einer Tuschezeichnung 400 †242
- Neutralrot zur Vitalfärbung 324
- Niedervoltlampen 73, 373, s a u Lichtquellen, künstliche
- Nikol, der 275, 275 †175, verschiedene Formen davon 275, Schwingungs- und Polarisationsebene dabei 276
- Nilblausulfatfärbung für Fette und Lipide 393
- numerische Apertur (num Ap) 16
- Objekt, das, seine physikalische Beschaffenheit bedingt die Lichtstärke des Interferenzbildes 24, -schicht 33, schwieriges 104, s u Belichtungszeit, gefärbtes 126, s u Glasbild und u tonrichtige Wiedergabe, ungefärbte —, ihre Aufnahme mit kurzwelligem monochromatischem Licht 143
- Objekt-Bild-Abstand 84, sein Einfluß bei der Dunkelfeldbeleuchtung 213ff, geeignetes — für Aufnahmen in auffallendem Licht 219, bei Lumineszenzaufnahmen 311
- Objekthalter, die 197, 223
- Das Aufnahmestischen nach B. ROMERIS 225, 197 †101, die Aufnahmevorrichtung nach B. ROMERIS 225 †121
- Objektmikrometer, das 81
- Objektivbrett, das, zum Umkehrspiegel 161 †70
- Objektive im Achsenschnitt 28 †9, 33 †11, 41 †14, IV Allgemeines 28ff, Achromate 28, 32, Fluoritsysteme 28, 32, Apochromate 28, 33 †11, Quarzmonochromate 28, 299
- mit Korrektionsfassung 29, 33, die Art ihres Aufbaus 29f, die Art der Fassung 30 ihre Bezeichnung 30, die Einzelvergrößerung (s a u Vergrößerung) 30, der Arbeitsabstand 30<sup>2</sup> die Trockenlinsen 31, a\* mit veränderlicher Vergrößerung 31 †10, ihre Reinigung 31<sup>1</sup> Zusammenstellung von — verschiedener Stärke 32 Tab 3, mit Korrektionsfassung 33 33 †11 u †12, die Immersionslinsen 34 35 †13 Tab 5, 36 7 Tab 6, Wasserlinsen 38, ihre Fassung 38
- Ollinsen 39, Glyzerinlinsen 41, Aufbau der Olapochromate 41 †14, Objektive schwache Aufnahmen damit 191 Tab 21 192 Tab 22 für Epi Lampen 243, für den Epi-Kondensor W 246 Objekttypen für das binokulare Präparatmikroskop 257 Tab 23, ihre Wahl für die Aufnahme von Gewebekulturen 339ff
- Objektivvergrößerung die 14, s a u Vergrößerung
- Objektisch der am Stativ 10 heizbarer 337

- Objekt-Leuchtfeld, das, 51<sup>1</sup>, 54, seine Beziehung zur Öffnung der Sehfeldblende 55, s a u Leuchtfeldverfahren nach A. KOHLER 75ff
- Objekttisch, vertikaler, s u Beleuchtung, heb- und senkbarer für mikrokine-matische Aufnahmen 368
- Öffnung, relative 22<sup>1</sup>
- Öffnungswinkel, der, des Objektivs 16
- Okularblenden beim binokularen Mikroskop 255, 256, s a u Aufsatzblenden
- Okulare im Achsenschnitt 28 †9
- allgemein, nach HUYGENS 42, RAMSDEN 43, KELLNER 43, verschiedener Herkunft 42 Tab 7, Kollektorlinse 42, Sehfeldzahl 42<sup>1</sup>, periplanatische, orthoskopische 42, Ebnungsokulare 177, periskopische, komplanatische 43, Augenlinse 43, Sehfeldblende 43, Austrittspupille (Augenpunkt) 43, die Führentzelle 43, und die Fehler gegen die Strahlenvereinigung 43, 44, die Kompensationsokulare 44, die Homale 44 †15, 81, 94<sup>1</sup>, das Projektionsokular (photographisches O ) 45 †16, 83, ihre Bezeichnung 46, — die Homale des Phoku 169, 370
- Okularvergrößerung, die 14, 14<sup>1</sup>, s a u Vergrößerung
- bei kinematographischen Schumbildern 370
- Ollinsen 39, s a u Objektive
- Opakbeleuchtungseinrichtung, die 222, 223 †119, s a u auffallendem Licht
- Opakilluminator, der 231 †129, s a u Vertikalilluminator
- optisches Glas, Brechzahlen dafür 29 Tab 2
- Orientierungslinien für die Erklärung der Abbildungen durch Benutzung der Präpariernadeln 226
- orthochromatische Platten 116 131
- Filme 366
- orthogonale Beleuchtung die 200, s a u Dunkelfeldbeleuchtung
- orthoskopische Okulare 42, s a u Okulare
- Otswechsel, der die Einteilung der Objekte nach der Schnelligkeit davon 345
- Osmiumreaktion, die für Fette und Lipide 393
- Oxydareaktion, die 396
- panchromatische Platten 117
- Papierbilder Entwickler dafür 122, Hochglanz für sie 123
- Paraboloidkondensor der 203
- Paraholospiegel, der 229
- Paratamol zu Immerston 41
- tropfen bei den Deckglaskulturen 338
- pendelnde Scheibe 88, s a u Einstellung
- Polarisation, die, eines Filmbandes 360
- Periodenaufnahmen bei der Kine-matographie 381
- periplanatische Okulare 42, s a u Okulare
- periskopische Okulare 43, s a u Okulare
- Periskopspiegel, der, am Universalappa-rat von REICHERT 165
- Perlit, lamellarer, Aufnahme davon 245 †143, streitiger, Aufnahme davon 254 †155
- Phenolrot zur Vitalfärbung 324
- Phoku 167, s a u Aufsatzkammeren
- Photographie, die, durch Kontaktwirkung 316, im Dunkeln 316
- photographisches Objektiv 177, s a u Aufsatzkammeren u anastigmatischen Objektiven 185, 186, 196
- Pigmentzellen gezüchtete 339 †214
- Pikrinsäure zur Kontrastfärbung 392
- Pikrinsäurelösung 140, s a u Licht-filter
- Pikrofuchsin zur Mitochondrienfärbung 393
- Planar s hier unter Mikropolarar 185 †91 u Tab 17, 186, 189 Tab 20, 190 †94 u †95
- Planktonkondensor, der 211
- Plankton-Spiegelkondensor, der 211 bei-des s a u Dunkelfeldbeleuchtung
- Planktonsucher, der 38
- Plattengrößen 93
- numerierung, die 120
- Plattensorten, ihre Wahl 116ff, ortho-chromatische 116, panchromatische 117, lichtstocherische 117, für Dunkel-feldbeleuchtung 215 für Polarisationsfarben 292, für UV-Aufnahmen 306, für Aufnahmen im ultravioletten Licht 313
- Pocket Camera 180 †86, s a u mikro-photographischen Apparaten beson-derer Form
- Polarisationsebene, die, s u Nikol 276
- Polarisationsfarben, Aufnahme von Ob-jekten mit 291, Farbenphotographie 292, Filter 292 Plattenwahl 292 Be-leuchtungszeit 293
- Polarisationskondensor, der 281 †181
- Polarisationsmikroskop das 277ff der Strahlengang durch 278 †176, der anastigmatische Tubusanalysator 279 die Kompensatoren 279
- Polarisator der 276 mit Platte und Deckel 280 †179 auf Reiter 281 †180, begrenzt den Strahlenkegel ge-legentlich 284
- polarisiertes Licht allgemeines 274 die Stärke vom Einfallswinkel (Brechungs-) Winkel abhängig 274 Stabchen-doppelbrechung 274 Glasplatten-satz 274 auf genauer Ausrichtung der Objektive dabei zu achten 285 durch Glasspiegel und Prismen beeinflusst 285, Aufnahmen mit dem einfachen Mikroskop 288 graphische Wirkung der Aufnahmen 290, zur Steigerung der Kontrastwirkung 328 Aufnahme von Myoblasten dabei 343 †216

- polauskopische Bilder in auffallendem Licht 289  
 Porzellanbehälter 70, 71 †30, s a u Lichtquellen, künstliche  
 Positiv, das, einer Farbiasterplatte, Entwickler dafür 147, 395  
 positive Bilder 120 ff, 395  
 Positivfilm, der, ein Stück davon 363 †227, seine geringere Empfindlichkeit 367  
 — seine Herstellung mit Belichtungs-  
 maschinen 384  
 Positivverfahren, das, bei Schmalfilm-  
 aufnahmen 365  
 Präparat, frisches oder natives 25, 320,  
 Dauer- 25, frisches in Glasgefäßen  
 321, hängenden Tropfen 321, storen-  
 des Korken-wasser 322, richtige  
 Wahl des Einschlußmittels 322, 323,  
 Zupf- und Quetschpräparat 322, 323  
 †199  
 Präpariermikroskope 219, binokulare  
 nach GREENOUGH 257 †158, 273  
 Präparierwechselkondensoren 209, 210  
 †111, s u Dunkelfeldbeleuchtung  
 Prisma, das, zur Beleuchtung 371<sup>1</sup>  
 Probeaufnahmen bei der Mikrokine-  
 mographie 378  
 Probebelichtung die, mit dem GOLD-  
 BERG'schen Graukeil 171 †77, 175  
 — bei isolierten Zellen 172  
 Probeplättchen zur Prüfung des Zedern-  
 öls 40  
 Projektion, die ihr Einfluß auf die forder-  
 liche Vergrößerung 368  
 Projektion, die, s a Stereoprojektion 273  
 Projektionsokulare 45 †16, 83 s a u  
 Okulare  
 Projektionsröhrenlampen 72 s a u Licht-  
 quellen, künstliche  
 Projektionstechnik, die, bei Reihenauf-  
 nahmen 352  
 Protami zu mikrokinematischen Arbeiten  
 Protisten 346 [367<sup>1</sup>  
 Protistenzellen 273  
 Protokoll das im Aufnahmebuch Muster  
 einer Seite 148 9 Tab 15  
 Protoplasmaströmungen 346  
 Pseudopodienbildung, die 346  
 pseudoskopischer Effekt 269  
 punktförmige Fadenanordnung einer  
 Glühbirnenlampe vorteilhaft 373  
 Punktlichtlampen mit Gleich- 62 und mit  
 Wechselstrom 64 s a u Lichtquellen  
 künstliche  
 Punktzeichnungen der drucktechnischen  
 Wiedergabe günstig 397  
 Quarzkondensor, der s u ultraviolettem  
 Licht 298  
 Quarzlinsen s u ultraviolettem Licht  
 298  
 Quarzkubur s u ultraviolettem Licht  
 299 (dienen als Korrektionslinsen für  
 die Monochromate)  
 Quarzprismen s u ultraviolettem Licht  
 297  
 Quarz-Trag- und Deckglas s u ultra-  
 violettem Licht 298  
 Quecksilberlampe, die (Hageh-Lampe)  
 zur UV-Beleuchtung 300, 374<sup>1</sup>  
 Quecksilberlampe der Vereinigte scienti-  
 fique 374<sup>1</sup>  
 Quecksilberquarzlampe, die, nach JESIO-  
 NEK reich an UV-Strahlen 373/4  
 Quetschpräparate 322  
 Rahmenentwicklung, die, belichteter  
 Filmiollen 383  
 Randunschärfe, die, des Bildes 89  
 Ringglaszylinderchen zur Dämpfung beim  
 Einstellen 71  
 Regelung, die automatische der Kohlen-  
 hogenlampe ist nicht ganz gleich-  
 maßig 373  
 Regie (= Leitung), die, des Filmablaufs  
 386  
 Reihenaufnahmen, die, 352, im UV-Licht,  
 nach FR F LUCAS 303  
 relative Öffnung 221, s a u Öffnung  
 Revolverwechsler der Hilfskollektoren  
 160<sup>1</sup>, der Sondier Objektivaufnahmen  
 für den Epi Kondensor W 246  
 Rhizopoden, ihre Pseudopodienbildung  
 346  
 Rollfilmkassette, die 352  
 Röntgenröhre, kleine für die Mikroradio-  
 graphic 315, nach A DAUVILLIER 316  
 Samenzellen der Heuschrecke *Stenobro-  
 thus lineatus* 389 †235, in Zeichnung  
 wiedergegeben 399 †241  
 Säule die, des Stativs 10  
 Saurefuchsin für Übersichtsaufnahmen  
 392  
 Schalenentwicklung die 119  
 — -kulturen s u Kulturpräparate 331  
 Schalttafel, die, mit Meßgeräten und  
 Vorschaltwiderständen 359 †224  
 Schaltung die, zum Amperemeter s u  
 ultraviolettem Licht 297  
 Scharferraum, der, bei Apparaten mit  
 gekreuzten Einstellebenen 261, 2  
 Scharfstellung, die 88, s a u Einstellung  
 Schichtdicke, die, für verschiedene Ver-  
 größerungen 90 für Filterfarbstoffe  
 136, ist der Tietenscharfe der ab-  
 bildenden Linsensolge anzupassen  
 389 90 s a u Schmittdicke  
 Schiebekassetten 59 s a u Vertikalkam-  
 mer 98 †48 s a u Belichtungszeit  
 schneles Licht 266 †168 s a u stereosko-  
 pische Halbbilder bei ihm  
 Schminbild, das bei der Projektion 369  
 Schlittenwechsler zentrierbarer 285  
 Schmalfilm, der 363, 363 †228. Anter-  
 tigung von Kopien davon 365  
 Schmetterlings-Zelle eine, Chromoso-  
 men darin 398 †240

- Schmetterlingsflügel, em, Aufnahme davon mit Kontaktwirkung 316
- Schneiden 25
- Schnittdicke, die, ist der Abbildungstiefe der abbildenden Linsenfolge anzupassen 394ff s a Schichtdicke
- Schnittpräparat, ein 193 †97
- Schlaglichtilluminator, der 236ff, nach HAUSER von E. BUSCH 236 †132, von C. REICHERT 237 †133
- Schuhe 153
- Schwarzungskurven 105 †52
- Schweißdrüsenöffnungen, Aufnahme davon 240 †138
- Schwingungsebene, die, s u Nikol 276
- Schwingvorrichtung, die, am mikrophotographischen Apparat von LEITZ 164
- Sehfeld, das, seine Beleuchtung 21
- -blende, die 43
- Sehfeldzahl, die 42<sup>1</sup>, Bedeutung, die, vieles leeren —s 112, — -strahlen, s. u. Dunkelfeldbeleuchtung 211ff
- Seide 254 †156, s a u Mischgewebe
- seitlicher Einblick s u Einblicköffnung 347, 375
- Sektorenblende, die, einer Kinokammer 361
- senkrechte Stellung, die, des Mikroskops beim mikrophotographischen Apparat 160
- Silberimprägnierungen zur Aufnahme von Gefügeeinzelheiten 391
- Simplex-Apparat, der 123, 124 †57
- Sinusbedingung, die, nach E. ABBE 16(2)
- Spaltbacken beim UV-Beleuchtungsapparat 297
- Spaltlampe, die, s u Kapillarmikroskopie 228
- Spalt-Opak-Illuminator, der 231
- Spalt-Ultramikroskop, das 23, 201, s a u Dunkelfeldbeleuchtung
- Spannungsdoppelbrechung, die 286
- Spektrograph, der 128
- Spermien-Aufnahmen mit starkeren Linsenfolgen 348
- Sperrfilter von E. BUSCH 309
- Spiegel, Plan- oder Hohl-, zur Beleuchtung 22, s a u Beleuchtungsapparat 46ff, für indirekte Beleuchtung 222, s a u auffallendes Licht, bei polarisiertem Licht 285
- Spiegelglasscheibe, die 90, s a u Einstellung
- Spiegelkondensor, der 203, zum Ultropak 239 †137
- Spiegellampen für Mikrokineematographie 372
- Spiegelhelixkammern für Momentaufnahmen 166, 7
- Spiegelhelixkammer, die, nach SCHEFFER 184 †90
- Spiegelsystem das, am mikrophotographischen Apparat von LEITZ 165
- Spullen 346
- Spodogramme 219 †113 u †114
- Spoien 346
- Stabchendoppelbrechung, die, s u Polarisiertem Licht 274
- Standentwicklung, die 119
- Starkstrom-Kohlenbogenlampen für mikrokineematographische Aufnahmen 372
- Stativ für das Mikroskop 10 †2, Zweckform 11 †3
- mikroskopische allgem 10
- Stenobrothus lineatus, Samenzellen davon 389 †235, in einer Zeichnung wiedergegeben 399 †241
- Stentoren, ihre Lebensweise im Film 381
- Stereokammer, die, nach DRUNER 258ff, 259 †159, Hilfsmikroskop dabei 258, 259 †159, Vergrößerungsaufsatz und Zwillingskassette 259 †160, Vergrößerungen damit 260 Tab 24
- Stereo-Mikrophotographie, die 255ff das stereoskopische Bild 255ff mit Schiefstellung des Spiegels 266, 267 †171
- stereo-mikrophotographische Einlegeblenden 264
- Stereoprojektion, die zu anschaulicher Darstellung 273, verschiedene Verfahren dafür 273<sup>1</sup>
- stereoskopische Halbbilder bei zusammenfallenden Einstelllebenen 264 †167
- — bei schieferm Licht 266 †168
- stereoskopische Wippe, die, 263 †164, HIMMLERSche Einrichtung mit ihr 263 †165
- stereoskopischer Effekt 269
- stereoskopisches Okular nach ABBE 255
- Stoppuhr, die 95, s a u Belichtungszeit
- Strahlenbegrenzung, die durch den Polarisor und den Analysator 284
- Strahlengang, der bei der Hellfeldbeleuchtung 201 †104, im Polarisationsmikroskop 278 †176
- Strichzeichnungen der drucktechnischen Wiedergabe günstig 397
- Strukturbild, das, 14 (durch Interferenz) 21, 21 †5 u 23 †6
- stufenweise Einstellung 89, s a u Einstellung
- Stützen, der für anastigmatische Objektive 188 †92 u †93, 189 Tab 20
- Submikronen 200 s a u Ultramikroskope
- Sucher, der, für das KOHLERSche Einstellverfahren mit UV-Licht 302
- Sudanfarbung für Fett 393
- sukzessive Pausen 89<sup>1</sup> s a u Einstellung
- Tachymeter, das einer Kinokammer 362
- Tageslicht- und Monochromatorlampe, die von LEITZ 287
- Teleobjektiv, das bei den LEITZischen Aufsatzkammern 173, für schwache Vergrößerungen empfohlen 196, 220
- Temperaturkoeffizient, der des Entwicklers 110

- Terpeneol als Immersionsflüssigkeit beim Kondensor 52, 205<sup>1</sup>
- Textpositive für die Filmstreifen 385
- Thionin zur Färbung 391
- Tiefenbeobachtung, die 241
- Tiefenschärfe, die 16f
- beim zusammengesetzten Mikroskop 17, bei aplanatischen Lupen 17, ihre Bedeutung bei der Dunkelfeldbeleuchtung 207, bei lebensfrischen Objekten 320<sup>1</sup>, bei Momentaufnahmen 349
- Tiefenvorstellung, die 257
- Tiefenwahrnehmung die 257
- Tischgestell, das 153
- Tischöffnung, die, ihr Einfluß auf die Öffnung des Beleuchtungskegels 48
- Toluidin zur Färbung 391
- tonichtige Wiedergabe gefärbter Objekte 130
- Tradescantia Virg., lebende Zellen aus ihren Staubfäden 350 †218
- Tragglasdicke, die Einhaltung der vorgeschriebenen 207, s a u Dunkelfeldbeleuchtung
- Trichter 188, s a u Stützen für anastigmatische Objektive
- Trickaufnahmen 354
- Triphenylmethanlösung als Filter für UV-Strahlen 309
- Trockenlinsen 31, s a u Objektive
- Trypanosomen-Aufnahmen mit starkeren Linsenfolgen 348, beim Anbohren eines Blutkörperchens 363 †227
- Tubusanalysator, anastigmatischer, s u Polarisationsmikroskop 279
- Tubus, weiter 10, 11 †3
- Tubuslänge, die, beim Phoku 168<sup>1</sup>
- Turmalin, Polarisatoren aus 275<sup>1</sup>
- Tuschezeichnungen für die Wiedergabe des Feingefüges 397, besonders für gezuchtete Gewebezellen 400 †242
- Überprüfung, die, der Aufnahmefilme 386ff
- Übersichtsbilder verlangen mannigfacher abgestuften Kontrast 391 verlangen besser eine weichere Bearbeitung 395, werden im allgemeinen durch mikrophotographische (nicht durch Zeichen-) Verfahren herzustellen sein 397
- Überzeichnen unterbelichteter Abzüge führt auf gute Ergebnisse 399, s a †241
- Uhrwerk, das, einer Kinokammer 362
- Ultramikroskopie die 20, 200ff †102, Ultrateilchen (Submikronen) 200
- ultramikroskopische Strukturen bei Dunkelfeldbeleuchtung 215
- Ultropak, das 239ff, nach HEINE 239 †136 u †137
- ultraviolette Licht, das, Aufnahmen in ihm 293ff, der Beleuchtungsapparat 294, die Funkensicherung 294, die Kondensatoren 294, der Funkenstander 294, die Elektroden, die mikrophotographische Einrichtung 295 †190, verschiedene Wellenlängen für ultraviolettes Licht 295, Spaltbacken 297, Quarzprismen 297, Schaltung zum Amperemeter 297, das Induktium bei Gleichstrom 298, der Quarzkondensor 298, Trag- und Deckglas aus Quarz 298, Quarzlinsen 298, Quarzokulare 299, Quecksilberlampe 300, Uranglasplatte 300, die Vorteile dieser Aufnahmen 306, Virusaufnahmen 306, die natürliche Färbung durch verschiedene Absorption 307, die Ausschaltung der UV-Strahlen bei Lumineszenzlicht 309, mögliche Verwendung bei der Mikrophotographie von Gewebekulturen 344, im geliebte Präparate auf Schärfe und Auflösung der Bilder noch nicht untersucht 398
- Uma, großer Apparat von LERTZ 163 †72, 165 †73.
- Umkehrbad, das, einer Farbiasteraufnahme 146
- Umkehrpisma, das 160 †69, 376
- Umkehrspiegel, der 161 †70
- Umkehrverfahren, das, für Schmalfilmaufnahmen 365
- unbedeckte Präparate s u Vertikalilluminator 232
- Universal-Kinamo, das, von ZEISS-IKON, sein Kurbelwerk 362, 375 †231
- Unschärfe, die, des Randes 89, s a u Randunschärfe
- Unterlage, die richtige — für das Objekt bei schwachen Vergrößerungen 199
- Uranglasplatte, die, zur UV-Photographie 300
- Uviolglas s u Lumineszenzlicht 308
- Vakuolenentleerung, die, ihre Aufnahme 395
- Vergrößerung, die, durch das Objektiv (Einzelvergrößerung nach A KOHLER) 14
- durch das Okular (Lupenvergrößerung durch das Okular nach A KOHLER) 14
- für die (nutzbare) 19, ihre einfache Beziehung zum Ap 20, s a u Aufnahme mit einer kleinen Vertikal-kammer 74ff, s a Bildvergrößerung, bei der Lebendbeobachtung 319, der Einfluß der Projektion auf sie 368
- die, der Abzüge 123, 124
- Vergrößerungsansatz, der, s u Stereokammer 259 60
- Verrerie scientifique, ihre Quecksilberlampe 374<sup>1</sup>
- Verstärker 118
- Verstärkung, die, einer Farbiasterplatte 147.

Verlag von Julius Springer / Wien und Berlin

---

## **Der wissenschaftlichen Biologie.**

Von **T. Péterfi**, Berlin 2 Bände

**Allgemeine Morphologie.** Mit 493 Abbildungen und einer farbigen  
25 Seiten 1928

**Allgemeine Physiologie.** Mit 358 Abbildungen X, 1219 Seiten 1928  
Band I und II zusammen RM 188 —, gebunden RM 198 —

**Physikalisches Praktikum** für Mediziner und Naturwissenschaftler  
Von **Alfred Hayt**, Wien Mit 299 Textabbildungen, 3 Tafeln und  
531 Seiten 1930 RM 39 —, gebunden RM 42 —

---

**\*Die Röntgenstereoskopie,** ihre Weite und ihre Verwertung  
Von Dr. **J. van Ebbenhorst Tengbergen**, Professor an der Universität zu Amsterdam,  
und **L. E. W. van Albada**, Generalmajor a. D., Amsterdam („Röntgenstrahlung  
in Einzeldarstellungen“, Band II) Mit 146 Abbildungen IV, 113 Seiten 1931  
RM 16 60, gebunden RM 19 50

---

**\*Geometrische Optik. Optische Konstante. Optische Instrumente.** Redigiert von **H. Koenen**. („Handbuch der Physik“, Band XVIII)  
Mit 688 Abbildungen XX, 865 Seiten 1927 RM 72 —, gebunden RM 71 10

### **Inhaltsübersicht**

Geometrische Optik Allgemeines über Strahlen und Strahlensysteme Allgemeine geometrische Abbildungsgesetze Von Dr. W. Meißner, Jena — Realisierung der Abbildung durch Kugelflächen Von Dr. W. Meißner, Jena, Dr. H. Boegehold, Jena, und Dr. O. Eppenstein, Jena — Ebene Flächen, Prismen Von Dr. H. Hartinger, Jena — Die Beziehungen der geometrischen Optik zur Wellenoptik Von Professor Dr. F. Jentzsch, Berlin — Besondere optische Instrumente Spiegel und daraus entstehende Instrumente Prismen Von Dr. F. Löwe, Jena — Das Auge und das Sehen Das Brillenglas und die Brille Das photographische Objektiv Von Professor Dr. M. von Rohr, Jena — Belichtungsrichtungen und Bildwerfer Die Lupe, das zusammengesetzte Mikroskop Von Dr. H. Boegehold, Jena — Das Fernrohr Von Dr. O. Eppenstein, Jena — Optische Konstanten Die Messung der Brechungsindizes von Gasen, flüssigen und festen Körpern, Kristallen usw. Methoden Apparate Die Methode zur Bestimmung von optischen Instrumenten, Linsen, Spiegeln, Mikroskopen, Fernrohren usw. Von Dr. H. Koenen, Jena

---

**Das Mikroskop und seine Anwendung.** Handbuch der praktischen  
Mikroskopie und Anleitung zu mikroskopischen Untersuchungen Nach Dr. **Hermann Hager** in Gemeinschaft mit Geh. Reg.-Rat Professor Dr. **O. Appel**, Berlin Dahlen, Professor Dr. **G. Brandes**, Dresden, und Professor Dr. **E. K. Wolff**, Berlin, neu herausgegeben von Professor Dr. **Friedrich Tobler**, Dresden Vierzehnte, umgearbeitete Auflage Mit 478 Abbildungen im Text IX 368 Seiten 1932 Gebunden RM 16 50

---

**\*Einführung in die Mikroskopie.** Von Professor Dr. **P. Mayer**, Jena  
Zweite, verbesserte Auflage Mit 30 Textabbildungen IV, 210 Seiten 1922 RM 4 —

---

**\*Lehrbuch der Physik** in elementarer Darstellung, Von **Arnold Berliner**.  
Vierte Auflage Mit 802 Abbildungen V, 658 Seiten 1928 Gebunden RM 19 80

---

**Physikalisches Handwörterbuch.** Herausgegeben von **Arnold Berliner**  
und **Karl Scheel**. Zweite Auflage Mit 1114 Textfiguren VI, 1128 Seiten 1932  
RM 96 — gebunden RM 99 60

---

*\* Auf die Preise der vor dem 1. Juli 1951 erschienenen Werke des Verlages Julius Springer - Berlin  
wird ein Notnachlaß von 10% gemacht  
(Das mit w bezeichnete Werk ist im Verlag von Julius Springer - Wien erschienen)*

